



UNIVERSITAT
JAUME·I

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIENCIES
EXPERIMENTALS
MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS DE LA VIDA ÚTIL Y DE LA VIABILIDAD
ECONÓMICA DE LAS BATERÍAS EN EL SECTOR
RESIDENCIAL

TRABAJO FIN DE MASTER

Autor: Jordi Domènech Gambaro

Directores: Emilio Pérez Soler, Héctor Beltrán San Segundo

Castellón, Junio de 2017

ÍNDICE GENERAL

1.MEMORIA.....	7
2.PRESUPUESTO.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Evolución consumo energético	2
Figura 2 Consumo mensual medio. Fuente: guía del consumo inteligente-REE.....	3
Figura 3 Demanda eléctrica del sector residencial en un día de invierno. Fuente: guía del consumo inteligente-REE	3
Figura 4 Demanda eléctrica del sector residencial en un día de verano. Fuente: guía del consumo inteligente-REE	4
Figura 5 Consumo eléctrico medio España	5
Figura 6 Distribución del consumo en el hogar. fuente: cne	5
Figura 7 Curva de carga del hogar medio en un día laborable de invierno. Fuente: proyecto INDEL	6
Figura 8 Curva de carga del hogar medio en un día laborable de verano. Fuente: proyecto INDEL	7
Figura 9 Consumo día laborable.....	8
Figura 10 Consumo día festivo	9
Figura 11 Consumo medio mes de Junio laborable vivienda 1	10
Figura 12 Consumo medio mes de Junio laborable vivienda 2	11
Figura 13 Consumo medio mes de Junio festivo vivienda 1	11
Figura 14 Consumo medio mes de Junio festivo vivienda 2	12
Figura 15 Proceso de conversión de electricidad en hidrogeno y metano. Fuente Powermag .	16
Figura 16 Ingresos obtenidos en función de la química. Fuente: Frost & Sullivan (2009).....	17
Figura 17 Energía específica y potencia específica de las baterías recargables. Fuente: Batteryuniversity.com	19
Figura 18 Estructura y proceso químico de la batería de plomo. Fuente: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/	22
Figura 19 Flujo de iones en la batería de litio. Fuente: BatteryUniversity.com	24
Figura 20 Consumo, potencia suministrada por la red y potencia suministrada por la batería .	27
Figura 21 estado de carga de la batería	27
Figura 22 potencia consumida sin batería	29
Figura 23 Potencia consumida de la red y la suministrada por la batería	29
Figura 24 Estado de carga de la batería	30
Figura 25 Ejemplo punto máximo dinámico. fuente https://www.ausnetservices.com.au/	31
Figura 26 Ejemplo método descarga programada. Fuente https://www.ausnetservices.com.au/	32
Figura 27 Instalación de una vivienda en aislada. Fuente http://ingemecanica.com/	33
Figura 28 Curva de ciclos de descarga vs DOD	34
Figura 29 Ejemplo de conteo con el método de Rainflow. ASTM E1049-85, 2011.....	37
Figura 30 Ejemplo de conteo con el método de conteo de picos, donde m es el nivel de referencia medio ASTM E1049-85, 2011.....	38
Figura 31 Ejemplo de conteo con el método de cruce de nivel, donde m es el nivel de referencia medio. ASTM E1049-85, 2011.....	39
Figura 32 Ejemplo de conteo con el método del rango simple. ASTM E1049-85, 2011.....	40
Figura 33 Vida en ciclos de la celda VL45E	42
Figura 34 Nº de ciclos y su amplitud	47
Figura 35 Optimización vivienda 1 batería plomo 5 kWh	48
Figura 36 Estado de carga de la batería	49
Figura 37 Nº de ciclos y su amplitud	49

Figura 38 N° ciclos y amplitud 30 días	50
Figura 39 Precio término de potencia. Fuente Iberdrola.....	53
Figura 40 Precio electricidad 1 de junio tarifa normal. Fuente REE.....	54
Figura 41 Precio electricidad 1 de junio tarifa discriminación horaria. Fuente REE	54
Figura 42 Curva celda VL30P	68
Figura 43 Curva celda VL45E	68
Figura 44 Curva celda VL41M.....	69
Figura 45 Curva celda OPzS Solar	69
Figura 46 Curva celda EnerSolT	70
Figura 47 Curva celda PowerCycle	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de las viviendas	9
Tabla 2 Características de los distintos tipos de baterías. Fuente: Baterryuniversity.com	20
Tabla 3 CE de las baterías de litio	25
Tabla 4 Características de los hogares analizados	43
Tabla 5 Baterías utilizadas.....	44
Tabla 6 Vida de las baterías en la vivienda 1.....	50
Tabla 7 Vida de las baterías en la vivienda 2.....	51
Tabla 8 Vida de las baterías en la vivienda 3.....	51
Tabla 9 Vida de las baterías en la Vivienda 4	52
Tabla 10 Datos económicos plomo vivienda 1	55
Tabla 11 Viabilidad económica plomo vivienda 1.....	56
Tabla 12 Datos económicos litio vivienda 1	56
Tabla 13 Viabilidad económica litio vivienda 1	57
Tabla 14 Ahorro anual.....	57
Tabla 15 Datos económicos Vivienda 2.....	58
Tabla 16 Viabilidad económica plomo vivienda 9.....	58
Tabla 17 Datos económicos vivienda 2	58
Tabla 18 Viabilidad económica litio vivienda 2	59
Tabla 19 Ahorro anual.....	59
Tabla 20 Datos económicos	60
Tabla 21 Viabilidad económica plomo Vivienda 3	60
Tabla 22 Datos económicos	61
Tabla 23 Viabilidad económica litio vivienda 3	61
Tabla 24 Ahorro anual.....	61
Tabla 25 Datos económicos	62
Tabla 26 Viabilidad económica plomo Vivienda 4	62

MEMORIA

ÍNDICE

1.INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación del proyecto.....	1
1.2 Objetivo del proyecto.....	1
2.CONSUMO ELÉCTRICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL	2
2.1 Introducción	2
2.2 Consumo agregado del sector residencial	2
2.3 Curvas de consumo típicas en un edificio de viviendas	5
2.4 Curvas de consumo reales.....	8
3.TECNOLOGIAS DE ALMACENAMIENTO	13
3.1 Introducción a los ESS y clasificación	13
3.2 Descripción de los distintos tipos de baterías adaptables al sector residencial	16
3.3 Características y causas de envejecimiento de los tipos de baterías a analizar	22
3.3.1 Baterías de plomo	22
3.3.2 Baterías de litio.....	23
3.3.3 Causas del envejecimiento de las baterías.....	24
4.MODOS DE OPERACIÓN DE BATERÍAS EN ENTORNOS DOMÉSTICOS.....	26
4.1 Energy arbitrage	26
4.2 Filtrado de picos de demanda	28
4.3 Funcionamiento en aislada	32
5.MÉTODOS DE CONTEO DE CICLOS	34
5.1 Introducción a la problemática	34
5.2 Algoritmos existentes.....	35
5.3 Algoritmo utilizado	41
6.CÁLCULO DEL ENVEJECIMIENTO	43
6.1 Casos analizados.....	43
6.1.1 Filtrado de picos	45
6.1.2 Optimización	45
6.2 Análisis de los resultados	46
6.2.1 Filtrado de picos	46
6.2.2 Optimización	47
7.VIABILIDAD ECONÓMICA	53
8.CONCLUSIONES	65
9.BIBLIOGRAFIA.....	66
10. ANEXOS	68
10.1 Curvas de ciclos de las baterías.....	68

10.2 Características de las baterías	71
10.3 Precios de las baterías de plomo.....	80
10.4 Código Matlab utilizado	81
10.4.1 Código Matlab Filtrado de Picos	81
10.4.3 Código Matlab Optimización.....	83

1.INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación del proyecto

El gran avance en cuanto a reducción de costes de las baterías, así como la aparición de empresas que ofrecen el sistema de almacenamiento de energía mediante baterías como una solución para reducir el coste de la electricidad en el hogar, ha vuelto a poner en el punto de mira público, la posibilidad de reducir la factura de la luz. Para ello, se están empezando a ofrecer precios competitivos para la instalación de todo el sistema necesario en los hogares particulares.

La instalación de batería en el hogar presenta múltiples ventajas, el ahorro en la factura de la luz es la principal y es la que determinará la viabilidad de la instalación, pero también sirve como fuente de alimentación en casos de corte de luz y, a nivel más general, supone un desplazamiento de los consumos eléctricos a las horas valle.

Por lo tanto, un análisis de cuánto tiempo puede durar una batería en una instalación doméstica es importante por ser el factor principal que determina si es viable la instalación de una batería.

En el presente proyecto, vamos a realizar simulaciones con datos reales y baterías reales para conocer el tiempo de vida de cada batería, así como el ahorro que supondrá en la factura eléctrica.

1.2 Objetivo del proyecto

El objetivo del presente proyecto es analizar la viabilidad de la instalación de baterías en el hogar para poder disminuir la potencia necesaria de la red, así como, mediante un proceso de optimización, modificar las horas de consumo de energía de la red para desplazarlas hacia las horas donde la energía es más barata. Para poder realizar esto, se tienen que desarrollar los siguientes puntos:

- ❖ Seleccionar la química de las baterías a analizar.
- ❖ Seleccionar el método por el cual se calcula la vida útil de la batería.
- ❖ Elegir los modos de operación de las baterías en el hogar.
- ❖ Realizar las simulaciones necesarias para obtener los datos de consumo si se instalara una batería.
- ❖ Obtener la vida útil de la batería mediante las curvas de vida en ciclos.
- ❖ Calcular la viabilidad económica de la instalación.

2.CONSUMO ELÉCTRICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL

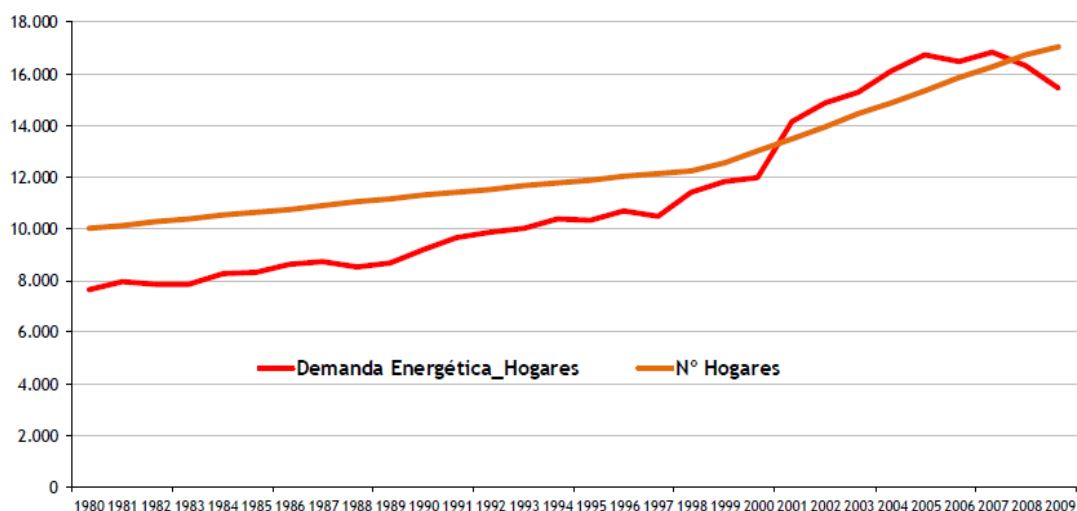
2.1 Introducción

En el presente punto, se van a analizar los hábitos de consumo, en términos eléctricos, del sector residencial español. Para ello vamos a analizar tanto datos extraídos de estudios a nivel nacional, como datos concretos de un centro de transformación, así como datos de dos viviendas concretas. Todo esto con el objetivo de mostrar que existen varias horas al día donde se producen importantes picos de consumo, que determinan en la factura del consumidor el término de potencia a contratar, así como que estos picos se producen en las horas donde la electricidad es más cara. En estos puntos es donde se le podrá sacar el rendimiento a la batería, tanto para evitar consumir de la red en las horas punta, como para limitar la potencia máxima que se consuma de la red.

2.2 Consumo agregado del sector residencial

El sector residencial es un sector clave en el contexto energético nacional y comunitario actual debido a la importancia que reviste su demanda energética, que en términos de consumo total y de consumo eléctrico asciende respectivamente a un 17% y 25% a nivel nacional, y al 25% y 29% a nivel de la UE27. En el ámbito nacional, diversos factores como el incremento de los hogares, los hábitos de consumo, el equipamiento progresivo de los hogares, propiciado por los incrementos de la capacidad de poder adquisitivo y una mejora del nivel de vida, hacen prever unas tendencias futuras al alza en cuanto a la representatividad del sector residencial en la demanda energética. [7]

Tendencias del Consumo Energético (ktep) del Sector Residencial en España



Fuente: IDAE

FIGURA 1 EVOLUCIÓN CONSUMO ENERGÉTICO

Como se observa en la figura 2, el consumo eléctrico en los hogares varía a lo largo del año, siendo mayor en los meses de verano e invierno debido al uso del aire acondicionado en verano y al uso de la calefacción e iluminación en los meses de invierno. Por su parte, el consumo es menor en los meses considerados de transición entre verano-invierno y viceversa ya que las temperaturas y las horas de luz no son tan extremas como en verano e invierno.

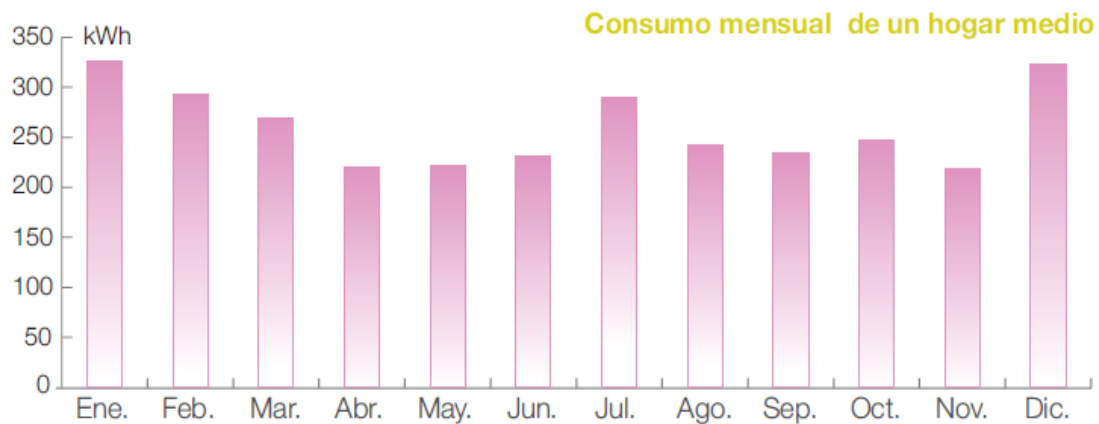


FIGURA 2 CONSUMO MENSUAL MEDIO. FUENTE: GUÍA DEL CONSUMO INTELIGENTE-REE

La cantidad de electricidad que consumen los hogares varía a lo largo del día y además de forma distinta en verano y en invierno.

En la figura 3, se muestra el consumo del sector residencial en un día de invierno, donde la demanda máxima de los hogares se produce entre las 20.00 y las 22.00 horas, coincidiendo con una elevada ocupación de los hogares y con el uso intensivo de la iluminación, calefacción y televisión.

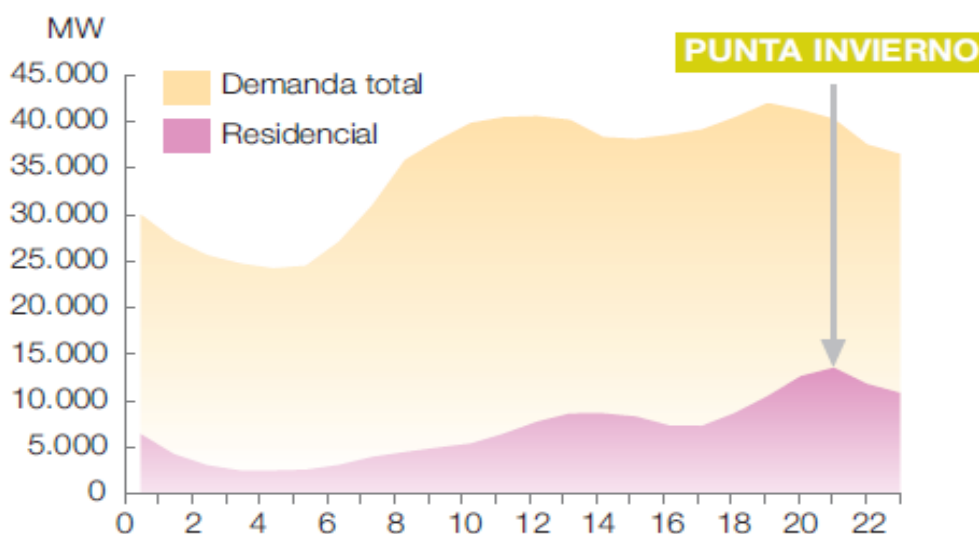


FIGURA 3 DEMANDA ELÉCTRICA DEL SECTOR RESIDENCIAL EN UN DÍA DE INVIERNO. FUENTE: GUÍA DEL CONSUMO INTELIGENTE-REE

En verano (figura 4), además de la punta de la tarde/noche se produce otro máximo de demanda en las horas centrales del día, entre las 14.00 y las 16.00 horas, como consecuencia del uso de cocinas, lavavajillas y televisión, a los que se suman los equipos de aire acondicionado.

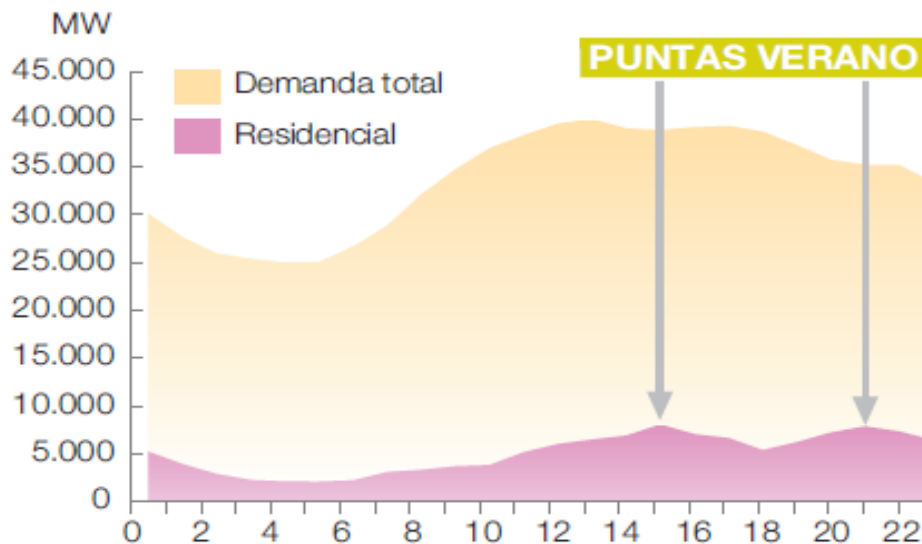


FIGURA 4 DEMANDA ELÉCTRICA DEL SECTOR RESIDENCIAL EN UN DÍA DE VERANO. FUENTE: GUÍA DEL CONSUMO INTELIGENTE-REE

En cuanto al resto de horas presentan una estructura más o menos similar, aunque la cantidad de energía demandada es diferente, dado que por ejemplo por las noches se suele gastar más energía en la calefacción de la que se gasta en verano para los aires acondicionados, ya que el ser humano suele soportar mejor el calor que el frío.

Entre las 22:00 y las 2:00 horas se muestra una disminución progresiva del consumo, pues a estas horas las personas van acostándose de forma progresiva.

Durante las 2:00 y las 6:00 el consumo permanece constante, al estar durmiendo la mayoría de la gente y como consecuencia de ello la actividad en las viviendas es reducida.

A partir de las 6:00 la demanda vuelve a aumentar de forma progresiva hasta las 8:00-9:00 como consecuencia de que la gente empieza a despertarse para ir a trabajar.

Posteriormente se aprecia una pequeña disminución, al dejar la gente los hogares para ir a trabajar, pero a las 10:00 vuelve a aumentar la demanda hasta las horas centrales del día como consecuencia de las tareas de limpieza, así como la preparación de la comida, las cuales tienen un consumo elevado de energía.

Después de las horas centrales del día la demanda vuelve a disminuir, porque o bien la gente descansa o vuelve a irse a trabajar.

Por último, desde las 18:00 hasta las 21:00-22:00, que es cuando se produce el pico de consumo, se produce un aumento progresivo del consumo ya que la gente vuelve a sus hogares. El motivo de que vaya en aumento es que cada vez se necesita mayor iluminación, se procede a la climatización de la casa y también debido a que se aumenta el uso de los electrodomésticos, entre otras cosas para hacer la cena o para el ocio personal.

Como conclusión del análisis de la curva de la demanda eléctrica del sector residencial, se podría afirmar que dicha demanda es directamente proporcional a la ocupación de los hogares durante el día, siendo muy reducida en las horas nocturnas como consecuencia de la poca actividad en las viviendas.

2.3 Curvas de consumo típicas en un edificio de viviendas

Según la guía de consumo inteligente de REE, el consumo eléctrico medio de un hogar español es el siguiente:

Potencia media contratada por hogar	4 kW	
	Anual	Diario
Consumo medio de un hogar español	2.992 kWh	8,2 kWh
Facturación media	362 €	1,0 €
Emisiones de CO ₂ medias por hogar	834,8 kg	2,3 kg

Fuente CNE. Año 2009

FIGURA 5 CONSUMO ELÉCTRICO MEDIO ESPAÑA

Distribuyéndose de la siguiente manera:

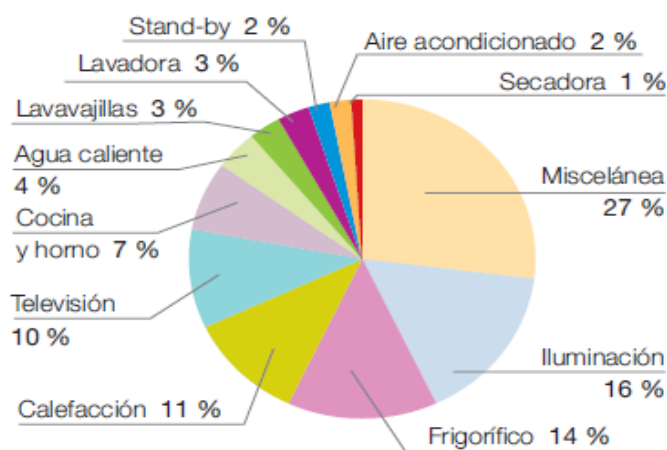


FIGURA 6 DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO EN EL HOGAR. FUENTE: CNE

Se van a mostrar a continuación los datos tomados durante la realización del proyecto “INDEL: Atlas de la demanda eléctrica española”, proyecto llevado a cabo en España en el año 1997, por lo que sus datos están anticuados, pero su mensaje sigue siendo válido. En él se muestra el consumo de los hogares a través de un día de diario de invierno y otro de verano. Con ellas se identificará la demanda de un hogar y se podrá comparar con los datos reales de los que disponemos.

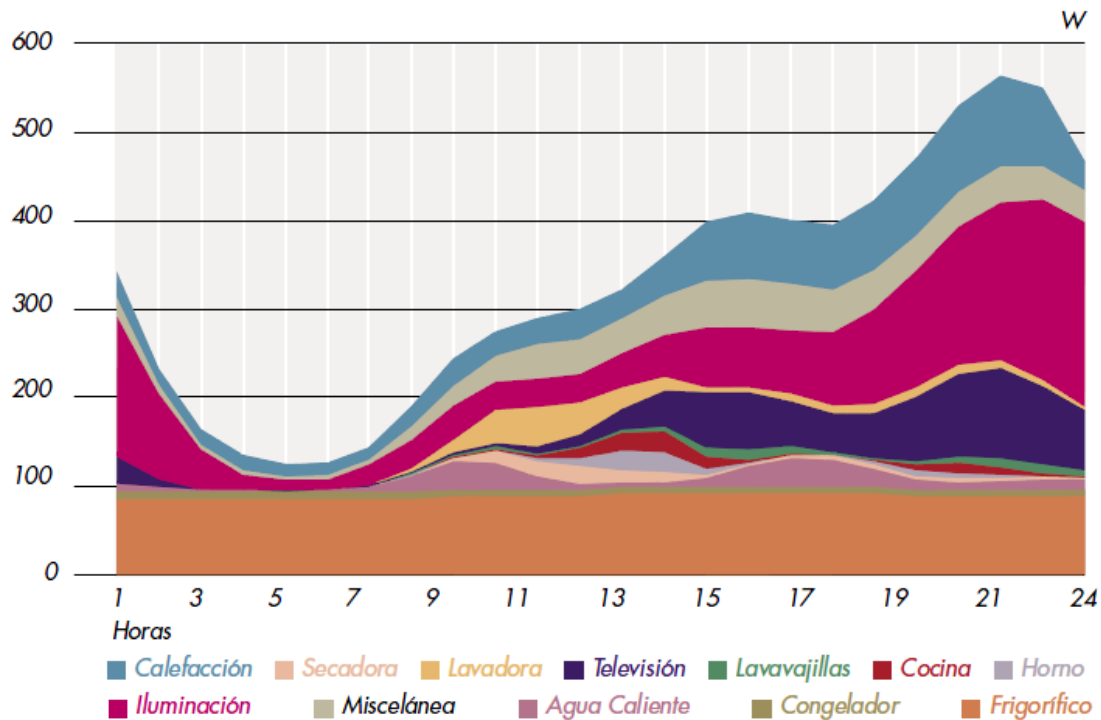


FIGURA 7 CURVA DE CARGA DEL HOGAR MEDIO EN UN DÍA LABORABLE DE INVIERNO. FUENTE: PROYECTO INDEL

Como se puede ver en la leyenda de la figura 7, se muestra el consumo de potencia eléctrica en vatios (W) de los diferentes dispositivos que se abastecen de energía eléctrica para su funcionamiento. El mayor consumo se produce por parte del frigorífico, televisión (en la actualidad la televisión tendrá menor peso debido a su menor consumo) e iluminación de la vivienda. Otra de las conclusiones importantes de esta gráfica es que la punta de consumo en invierno se produce entre las 21:00 y las 22:00 horas y en menor medida otra punta de consumo a las 15:00 horas, periodo en el que la iluminación cobra mayor peso en el consumo.

De este tipo de gráficas también se pueden sacar conclusiones sobre los hábitos de la población; como ejemplo se puede poner el uso del agua caliente el cual tiene una punta a las 9:00 horas, como consecuencia del aseo matinal y otro a las 17:00 horas como consecuencia del fregado de las vajillas, ya sea bien de forma manual o a través del propio lavavajillas. Otro rasgo muy característico sería el uso de la cocina y el horno, cuyo consumo se centra entre las 12:00 y las 14:00 horas, ya que son las horas previas a la comida, y a las 21:00 horas, como consecuencia de la cena.

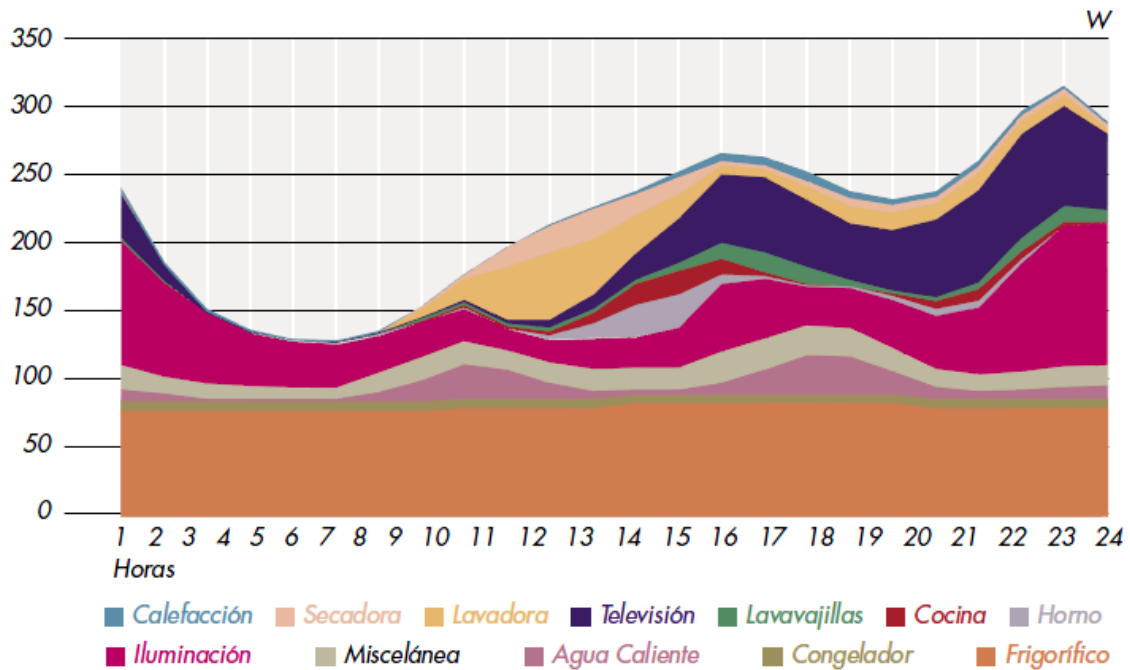


FIGURA 8 CURVA DE CARGA DEL HOGAR MEDIO EN UN DÍA LABORABLE DE VERANO. FUENTE: PROYECTO INDEL

Para el caso de un día laborable de verano, presentado en la figura 8, se sigue observando que el consumo se caracteriza fundamentalmente por el consumo del frigorífico, televisión (menor en la actualidad) y por la iluminación de la casa, produciéndose el pico de consumo a las 22:00 horas. Sin embargo, se pueden ver grandes diferencias entre ambos consumos. Uno de los más destacados es el uso de la calefacción en invierno, el cual tiene un consumo considerable. También se puede observar cómo se desplazan ciertos consumos como por ejemplo el de la iluminación, el cual se desplaza a horas más tardías en los horarios de verano.

Al observar las gráficas se observa que en comparación a lo que hay contratado en las viviendas (en torno a 4 kW) la potencia es muy reducida. Esto se debe a que se están teniendo en cuenta diferentes curvas de carga, por lo que la forma de calcular la curva de carga es sumando las potencias y dividiendo estas entre el número de viviendas que tiene dicha potencia. A pesar de ello lo principal que se puede extraer de estas gráficas son los hábitos de uso que tienen las personas de los diferentes dispositivos que hay en las viviendas.

2.4 Curvas de consumo reales

Una vez vistas las curvas de consumo medias, se procede a analizar las curvas de consumo reales de un centro de transformación situado en la calle maestro Chapí en Castellón.

El primer gráfico muestra curva de consumo del martes 12/07/2016.

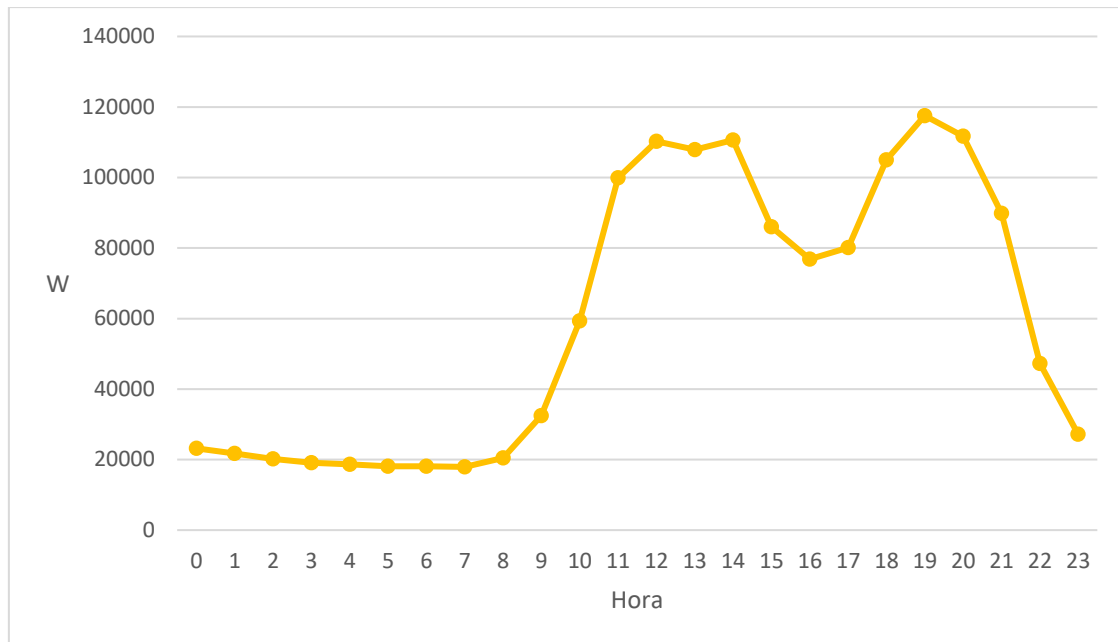


FIGURA 9 CONSUMO DÍA LABORABLE

Como se ha comentado anteriormente, para un día laborable de verano existen 2 picos de consumo, el correspondiente a la hora de la comida y el de la hora de la cena.

Si comparamos este gráfico con los analizados anteriormente, vemos que las puntas de consumo han sido desplazadas. Mientras que en los gráficos anteriores las puntas de consumo se sitúan a las 15h y a las 21h, con los datos aquí representados, las puntas se producen entre las 12h y las 14h y a las 19h. Esto es debido a que anteriormente, lo que se muestra es una media del consumo a nivel nacional, mientras que aquí está representado solo un centro de transformación local, con lo que los hábitos de los consumidores no son iguales. Además, hay 20 años de diferencia entre los datos, lo que también afecta a los hábitos de las personas.

Pero lo importante de esta representación es que se puede comprobar la existencia de esas puntas de consumo, las cuales muestran la gran diferencia que hay en el consumo de las horas punta a las horas valle.

A continuación, se muestra la curva de consumo en un día festivo:

Curva de consumo del domingo 24/07/2016.

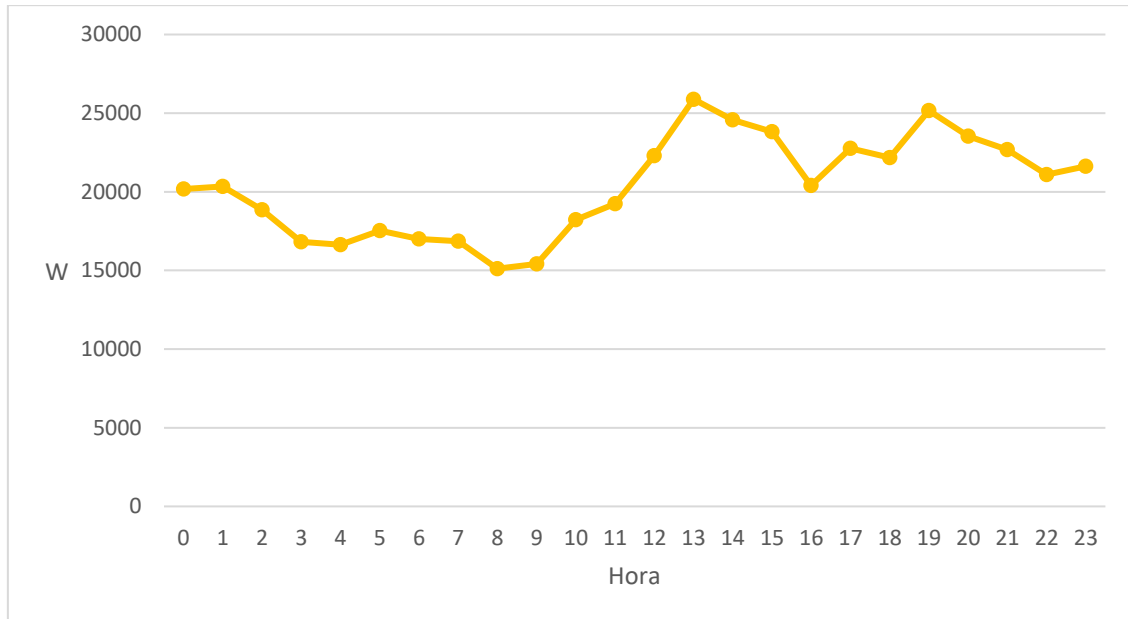


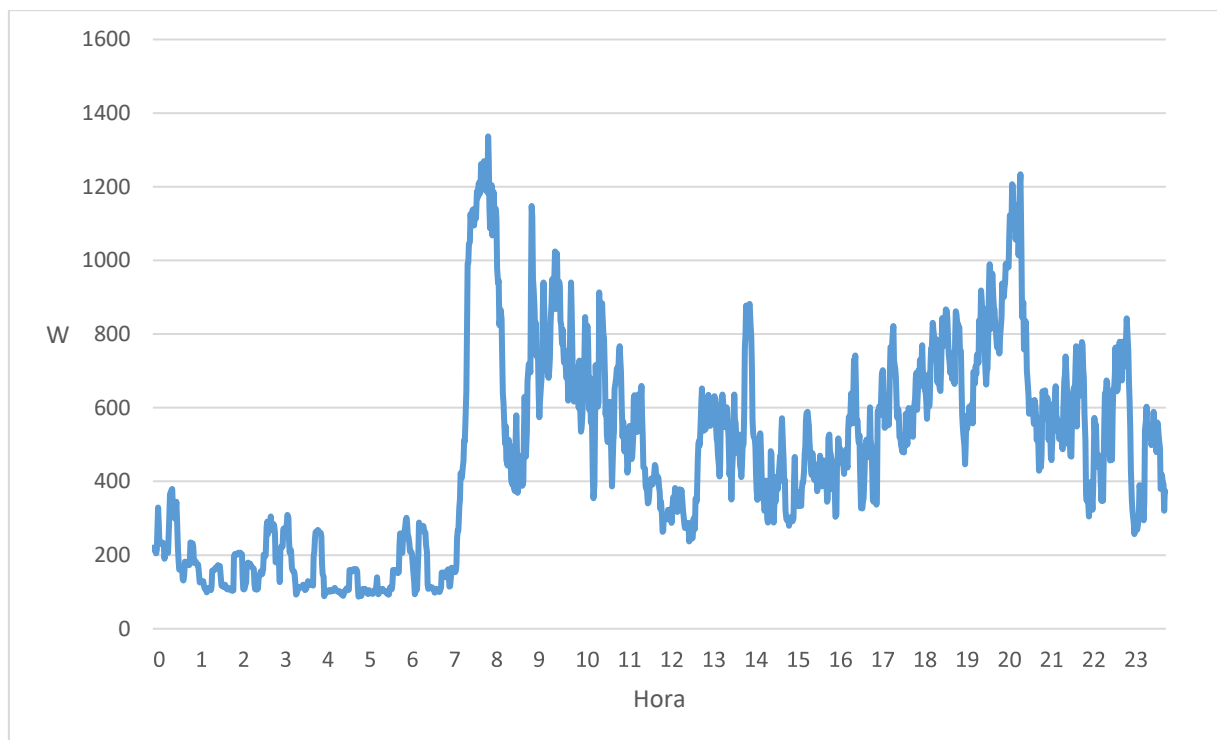
FIGURA 10 CONSUMO DÍA FESTIVO

El análisis es similar al del día laborable, destacando que, al ser un día festivo, mucha gente no permanece en sus hogares, lo que repercute en que el consumo sea muy inferior y que haya menos diferencia entre los valles y los picos, pero éstos se mantienen a las mismas horas.

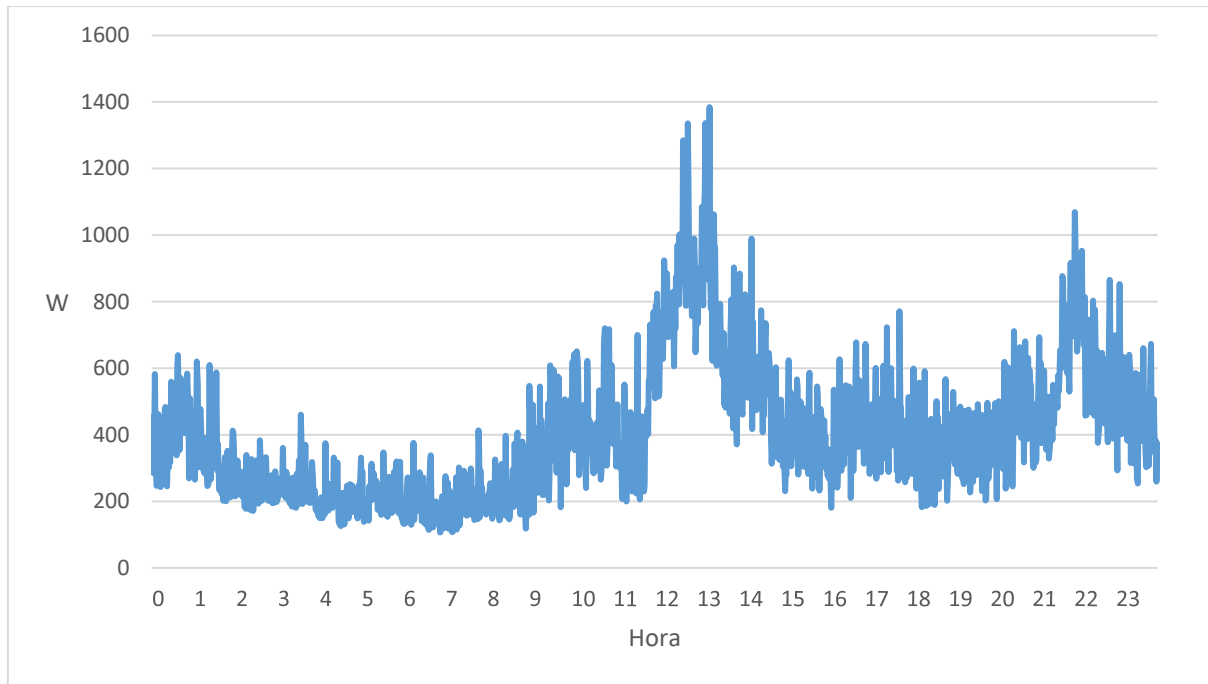
Esta información sigue siendo una media de varios hogares, por lo que para nuestro proyecto sigue sin ser del todo concluyente, ya que nosotros queremos analizar una batería en un hogar concreto. Para ello, disponemos de los perfiles de consumo medios de dos viviendas durante el mes de junio. Se han separado días laborables (de lunes a viernes) y días festivos (sábado y domingo). Las características de las viviendas se presentan a continuación:

Localidad	Vivienda	Tamaño (m2)	Habitantes (niños/adolescentes/adultos/ancianos)	Sistema de calefacción	Aire acondicionado	Consumo mensual (kWh)
Castellón de la Plana	1	90	1/0/2/0	Bomba de calor	Bomba de calor	303,61
Alquerías del niño perdido	2	115	0/0/1/2	Eléctrica		272,73

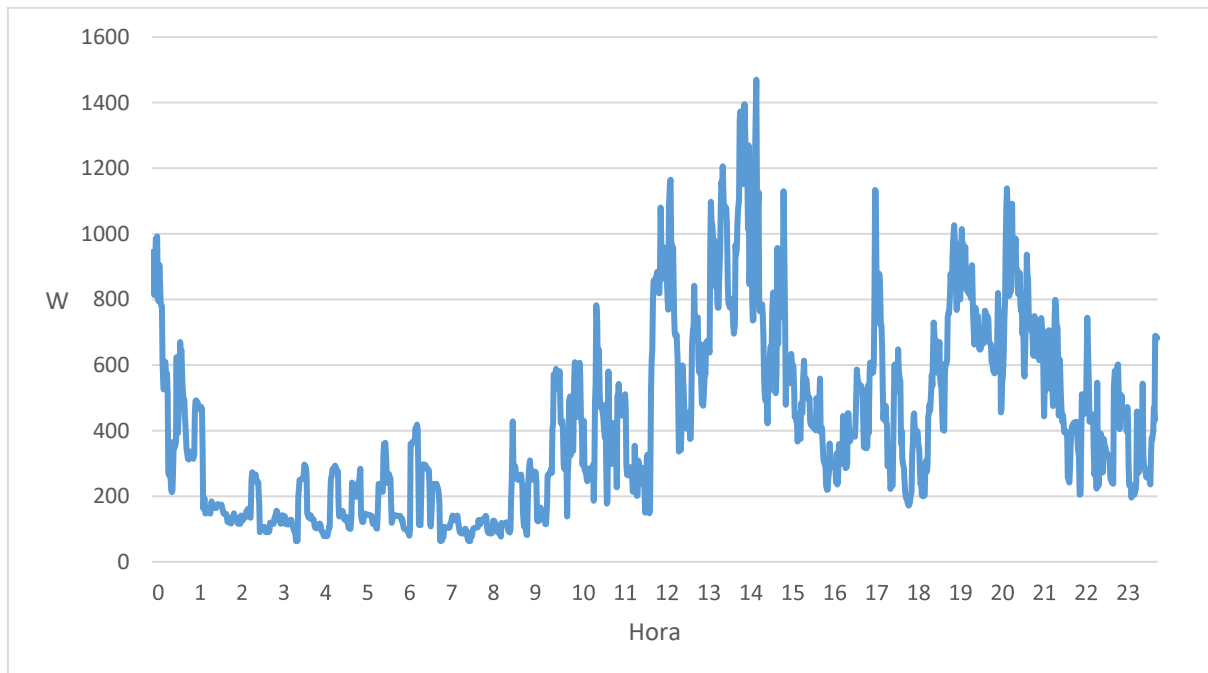
TABLA 1 CARACTERÍSTICAS DE LAS VIVIENDAS

**FIGURA 11 CONSUMO MEDIO MES DE JUNIO LABORABLE VIVIENDA 1**

En el primer caso, representado en la figura 11, se puede observar claramente que el mayor pico de consumo se produce a las 8 de la mañana, ya que al tratarse de una vivienda donde viven 2 adultos y un niño, se levantan para desayunar y llevar al niño al colegio. El siguiente pico se produce entre las 9h y las 10h, donde es posible que se realicen las tareas de limpieza del hogar. A las 14h hay otro pico de consumo debido a que es la hora de comer. Finalmente hay un último pico a las 20h, que corresponde con la preparación de la cena.

**FIGURA 12 CONSUMO MEDIO MES DE JUNIO LABORABLE VIVIENDA 2**

El segundo caso, figura 12, se trata de una vivienda donde viven 1 adulto y 2 ancianos, por lo que sus hábitos son diferentes. Como se puede observar, los 2 picos principales se dan entre las 12h y las 13h, para preparar la comida y entre las 21h y las 22h, donde se prepara la cena.

**FIGURA 13 CONSUMO MEDIO MES DE JUNIO FESTIVO VIVIENDA 1**

Para el caso de los días festivos en la vivienda 1 (figura 13), el pico de por la mañana está más repartido entre las 9h y las 11h, mientras que el primer pico de consumo se produce entre las 12h y las 13h y, el principal, a las 14h, hora de comer. Por la tarde, el consumo está más repartido y aparece el pico de por la tarde a partir de las 19h.

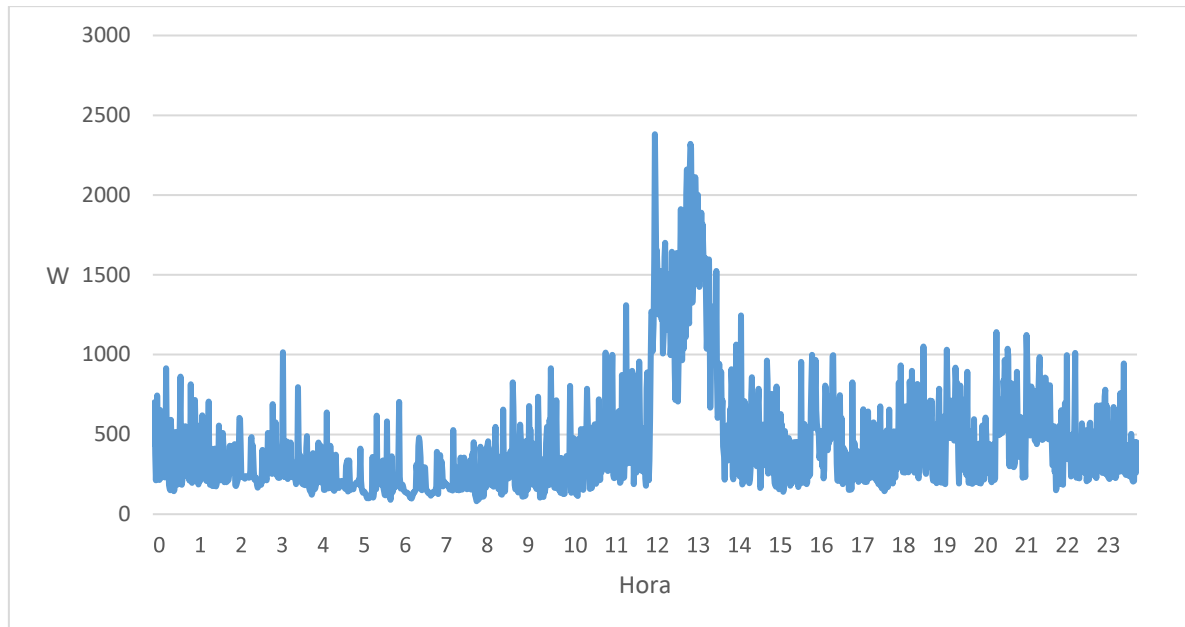


FIGURA 14 CONSUMO MEDIO MES DE JUNIO FESTIVO VIVIENDA 2

En este último gráfico (figura 14), solo se aprecia un pico en todo el día, el que tiene lugar entre las 12h y las 14h, debido a la preparación de la comida. Durante el resto del día, el consumo se mantiene bastante similar, sin apreciar grandes cambios.

Para la vivienda 1, la potencia máxima que se consume en el mes de junio es de 5,19 kW, mientras que la potencia media consumida es de 673W.

Para la vivienda 2, la potencia máxima es de 4,9 kW y la potencia media es de 532W.

Estos datos indican que el valor máximo está muy alejado del valor medio, por lo que es posible cubrir los picos con sistemas de almacenamiento y disminuir la potencia máxima que se consume de la red.

Todo lo visto hasta ahora sirve para conocer cuáles son los hábitos de consumo eléctricos de la población y conocer donde se producen los picos de demanda. Una manera de reducir los picos de demanda es instalar sistemas de almacenamiento energético para evitar consumir de la red esos picos, lo que evitaría que, si excedemos la potencia contratada, se nos corte el suministro e incluso, poder reducir esa potencia máxima lo que nos supondrá un ahorro al final del mes. Sin olvidar que el precio de la energía es variable durante el día, por lo que el almacenarla cuándo es más barata y no consumir de la red cuando es más cara también nos supondrá un ahorro en la factura.

Por lo tanto, vamos a analizar qué sistemas de almacenamiento existen y cuáles son los más adecuados para instalar en un hogar.

3.TECNOLOGIAS DE ALMACENAMIENTO

3.1 Introducción a los ESS y clasificación

La necesidad de almacenar la energía ha existido desde siempre, aunque se convirtió en un factor dominante en el desarrollo económico con la introducción generalizada de la electricidad. Además, el actual desarrollo de las energías renovables implica que se tenga una producción de energía eléctrica variable no controlada.

Debido a que las fuentes renovables están conectadas a las redes eléctricas o micro redes de electricidad, pero la disponibilidad aleatoria de la energía primaria da como consecuencia períodos con exceso y deficiencia de energía. Esto ha llevado a que se desarrollen diferentes formas para almacenar la energía sobrante a fin de utilizarlo cuando sea necesario y las condiciones de operación del sistema eléctrico lo permitan.

Métodos de almacenamiento:

- **Químico**
 - Hidrógeno.
 - Biocombustible.
 - Nitrógeno Líquido.
 - Oxyhydrogeno.
 - Peróxido de Hidrógeno.
- **Biológico.**
 - Almidón (Starch).
 - Glucógeno.
- **Electroquímico.**
 - Baterías.
 - Flow Battery.
 - Cédulas de Combustible.
- **Eléctrico.**
 - Capacitor.
 - Supercapacitor.
 - Almacenamiento de Energía Magnética por Superconductividad (Superconducting Magnetic Energy Storage – SMES).

➤ **Mecánico.**

- Almacenamiento de Energía por Aire Comprimido (Compressed Air Energy Storage – CAES).
- Almacenamiento de Energía en Volantes de Inercia (Flywheel).
- Acumuladores Hidráulicos.
- Almacenamiento de Energía Hidroeléctrica.
- Energía Potencial Gravitatoria.

➤ **Térmico.**

- Almacenamiento de Energía Térmica.
- Molten Salt.
- Acumulación Freática (Seasonal Thermal Store).
- Acumulador de Calor (Storage Heater).
- Acumulador de Vapor (Steam Accumulator).
- Sistemas Eutécticos (Eutectic System).

Los sistemas más utilizados para almacenar energía eléctrica son los siguientes:

Centrales de acumulación por bombeo

Con un rendimiento de hasta el 80 por ciento, son actualmente la única opción de acumulación de electricidad económica disponible en el futuro inmediato a escala industrial para la compensación horaria y diaria. Hoy en día, no existe ninguna tecnología comparable que sea tan duradera, de amplia utilización y probada que, además, se pueda utilizar con una flexibilidad similar y que contribuya significativamente a la seguridad del suministro. La generación de electricidad intermitente en combinación con centrales de acumulación por bombeo puede facilitar un rendimiento seguro para contribuir a la reducción de CO₂, ya que la demanda de reservas energéticas convencionales está disminuyendo.

Su mayor desventaja es que se requieren unas condiciones especiales para su instalación (disponer de un salto de agua, dos embalses a distinta altura) por lo que el número de centrales es limitado.

Acumuladores de aire comprimido y de aire líquido

Las centrales acumuladoras de aire comprimido utilizan la energía sobrante, por ejemplo, de las fuentes de energía renovables volátiles, para comprimir el aire que se almacena en cavidades subterráneas. Si se necesita energía, se utiliza el aire comprimido para producir energía en una turbina de gas. Como alternativa al almacenamiento subterráneo del aire comprimido, existe la posibilidad de licuar el aire. El aire líquido criogénico se puede almacenar en tanques sobre la superficie de alta densidad a presión ambiente. Para la reconversión, el aire se somete a presión con una bomba, se evapora y se descomprime en una turbina de gas.

Almacenamiento electroquímico

Las baterías son especialmente adecuadas para el almacenamiento de energía eléctrica. Ellas se componen de elementos galvánicos que generan tensión mediante la combinación de dos electrodos distintos y un electrolito de forma electroquímica. Desde hace varias décadas se utilizan sistemas de baterías convencionales para el suministro de energía. El aumento de la proporción de energías renovables fluctuantes ha creado un nuevo campo de aplicación para acumuladores electroquímicos, los llamados «acumuladores domésticos», que almacenan la energía (solar, eólica, ...) generada y aseguran el consumo propio cuando es necesario.

Las baterías de gran tamaño tienen cada vez mayor importancia en el rango de multi-megavatios. Ellas proveen servicios de sistema como, por ejemplo, mantenimiento del nivel de frecuencia y tensión o la capacidad de arranque en negro en pocos milisegundos y, de esta manera, aseguran la estabilidad de la red y el suministro a pesar de las fluctuaciones de alimentación eólica y solar. Los acumuladores electroquímicos adecuados son los acumuladores de plomo y ácido, de níquel y cadmio, de sodio y azufre, de iones de litio y de redox de vanadio. Sin embargo, existen grandes diferencias en cuanto a la densidad de energía, la eficacia, la vida útil y los costes del sistema. Los acumuladores mencionados alcanzan rendimientos de entre el 57 (níquel / cadmio) y el 98 por ciento (iones de litio).

Power to gas

El concepto «Power to Gas» consiste en convertir energía renovable en hidrógeno o metano. El gas se puede transportar y almacenar utilizando la infraestructura del gas y luego usarlo en las diferentes áreas de aplicación. Si es necesario, se puede convertir de nuevo en electricidad. Asimismo, es posible la utilización directa del hidrógeno, por ejemplo, en el sector transporte. Por consiguiente, Power to Gas es una solución que abarca todo el sistema para la integración de las energías renovables en el sistema de energías. Power to Gas puede ayudar a reducir las emisiones de CO₂ en diversos sectores consumidores, en la medida en que el gas renovable generado a través de Power to Gas sustituya los combustibles fósiles en los sectores de transporte, suministro de calor y producción de electricidad.

Por otra parte, Power to Gas, considerado un acumulador de electricidad, puede ayudar a compensar las crecientes fluctuaciones en la generación de electricidad debido a la energía eólica y solar o a conservar electricidad integrable a la red cuando no se necesita directamente, especialmente en períodos de alta producción de energía renovable. En comparación con otras tecnologías de acumulación de energía, la solución Power to Gas ofrece una capacidad de almacenamiento significativamente mayor y puede utilizarse, además, como acumulador de electricidad estacional.

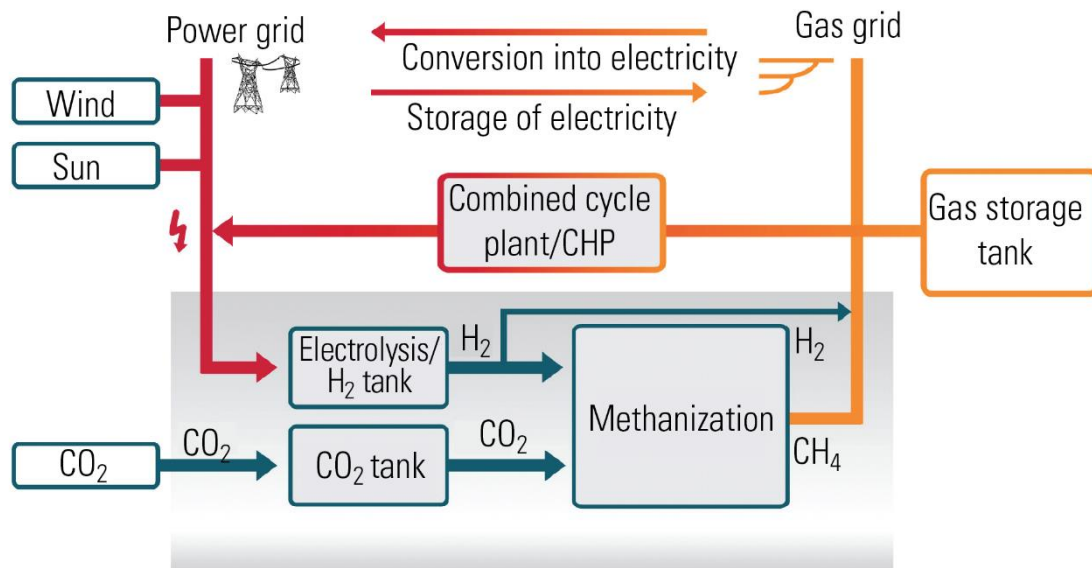


FIGURA 15 PROCESO DE CONVERSIÓN DE ELECTRICIDAD EN HIDROGENO Y METANO. FUENTE POWERMAG

3.2 Descripción de los distintos tipos de baterías adaptables al sector residencial

En nuestro caso, vamos a usar las baterías para almacenar energía, pero existe una gran variedad de éstas, por lo que primero hay que analizar las características de los distintos tipos y seleccionar cuál es el que mejor se adapta para nuestro proyecto.

Las baterías son dispositivos capaces de almacenar energía, suministrarla y ser recargadas varias veces durante su vida útil. Cuando el dispositivo es capaz de almacenar energía para su posterior suministro, pero no es recargable, se le llama pila.

A grandes rasgos, las baterías se componen de celdas, que a su vez se componen de dos electrodos (un ánodo y un cátodo) fabricados de distintos metales y sumergidos en una solución electrolítica (ácida o alcalina) que permitirá las reacciones químicas que liberarán o almacenarán la energía. Cada una de esas celdas, en sus diferentes composiciones, tiene una capacidad y, juntando varias celdas se consiguen las diferentes capacidades de baterías.

Los aspectos que hay que conocer de la batería son: Estado de carga (SOC), que muestra la capacidad de la batería de manera porcentual respecto al cien por cien de cuando está completamente cargada; la profundidad de descarga, la cual muestra la relación entre la capacidad en amperios-hora (Ah) entregada por una batería durante su descarga y la capacidad nominal de la misma; y por último los ciclos de la batería, que es el tiempo transcurrido desde una carga completa a una descarga de la batería. El parámetro que mejor define la batería es la capacidad, que cuantifica la cantidad de

electricidad que puede obtenerse mediante la descarga total de una batería inicialmente cargada al máximo. La capacidad de un acumulador se mide en Amperios-hora (Ah).

Se diferencia el valor nominal del real, siendo el primero la capacidad que puede entregar una batería desde plena carga, hasta alcanzar una tensión en descarga determinada, a una temperatura ambiente fijada y utilizando un ratio de descarga específica; el segundo corresponde a la capacidad que puede entregar una batería desde su estado de plena carga y en condiciones de funcionamiento diferentes a las establecidas para definir la capacidad nominal de la batería.

Las baterías se dividen en primarias o de uso único (pilas), las cuales una vez descargadas no se pueden volver a cargar y secundarias o recargables que pueden recargarse un variable número de veces.

Las baterías se clasifican en función de los productos químicos que las componen. Las más utilizadas son las basadas en litio, plomo y níquel.

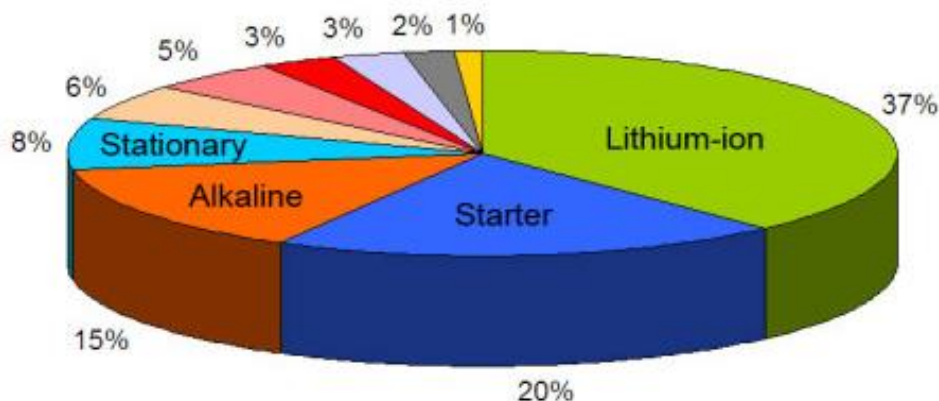


FIGURA 16 INGRESOS OBTENIDOS EN FUNCIÓN DE LA QUÍMICA. FUENTE: FROST & SULLIVAN (2009)

- 37% Ion-litio
- 20% Plomo-ácido, batería de arranque
- 15% Pila alcalina, primaria
- 8% Plomo-ácido, estacionaria
- 6% Zinc-carbono, primaria
- 5% Plomo-ácido, descarga profunda
- 3% Níquel-metal-hidruro
- 3% Litio, primaria
- 2% Níquel-cadmio
- 1% Otras

Las baterías de plomo-ácido se describen como una fuente de alimentación robusta y económica para uso general. Aunque el Ion-litio, debido a su abaratamiento, está empezando a usarse en lugar del plomo-ácido, la demanda de estas baterías sigue en aumento. Sus principales aplicaciones son:

- ❖ Baterías de arranque para automóviles (20%).
- ❖ Baterías estacionarias de energía de reserva (8%).
- ❖ Baterías de descarga profunda para movilidad rodante (5%), como coches de golf, sillas de ruedas, ...

La pila alcalina sigue siendo la fuente de alimentación primaria dominante, debido a una mayor capacidad de almacenamiento y mayor energía específica.

El níquel de hidruro metálico (NiMH) continúa estando presente, sobretodo porque es el sustituto del Níquel-Cadmio (NiCd). Sin embargo, cuenta con una cuota de mercado del 3% y sigue disminuyendo, por lo que el NiMH se está convirtiendo en un actor secundario.

Las baterías recargables tienen un papel importante en nuestras vidas y muchas tareas diarias sería impensable sin la capacidad de recarga. Las baterías recargables más comunes son el ácido- plomo, NiCd, NiMH y Li-ion. Este es un breve resumen de sus características:

- **Plomo Ácido** - Este es el sistema más antiguo de batería recargable. El plomo-ácido es robusto y tiene un precio económico, pero tiene una baja energía específica y un limitado número de ciclos. Están formadas por un depósito de ácido sulfúrico y en su interior una serie de placas de plomo dispuestas alternadamente. El plomo-ácido se utiliza para sillas de ruedas, coches de golf, vehículos, luces de emergencia y sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI). El plomo es tóxico y no puede desecharse en vertederos.
- **Níquel-Cadmio** -El NiCd se utiliza donde se requiere una larga vida útil, alta corriente de descarga y existen temperaturas extremas. El NiCd es una de las más robustas y duraderas baterías y es la única que permite la carga ultra-rápida con un mínimo de daño. Las principales aplicaciones son las herramientas eléctricas, dispositivos médicos y la aviación. Debido a las políticas ambientales, el NiCd está siendo reemplazado por otras químicas, pero conserva su uso en la aviación debido a su buen historial de seguridad.
- **Níquel-hidruro metálico** - Sirve como un reemplazo para el NiCd, ya que tiene metales tóxicos leves y proporciona una mayor energía específica. Los inconvenientes son la pérdida de vida útil a altas temperaturas, la mayor sensibilidad a la variación de temperatura y su mayor coste. El NiMH se utiliza para instrumentos médicos, vehículos híbridos y aplicaciones industriales. El NiMH también está disponible en celdas AA y AAA para uso del consumidor.

- **Ion-litio** – El Li-ion está reemplazando en muchas aplicaciones al plomo y al níquel. Por razones de seguridad, el Li-ion necesita un circuito de protección. Es más cara que la mayoría de las otras baterías, pero tiene un mayor número de ciclos y el bajo mantenimiento reduce el coste por ciclo por debajo de los otros tipos.

La investigación en baterías está avanzando en dos frentes, reflejado en un aumento de la energía específica para unos ciclos más largos y en la mejora de la potencia específica para las necesidades de carga con corrientes altas.

La siguiente gráfica, muestra una comparativa entre la relación de Potencia Específica y Energía Específica de los distintos tipos de baterías:

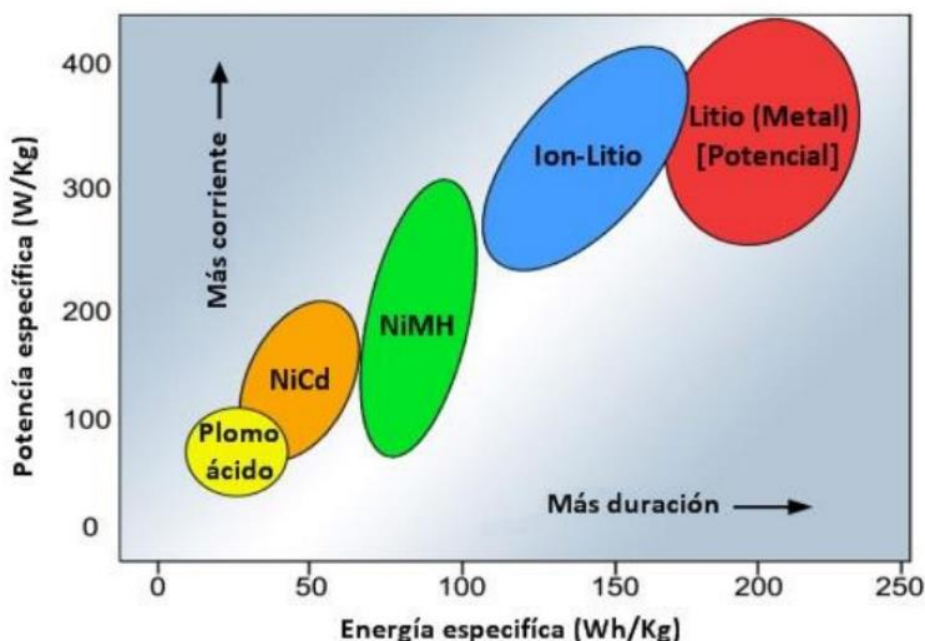


FIGURA 17 ENERGÍA ESPECÍFICA Y POTENCIA ESPECÍFICA DE LAS BATERÍAS RECARGABLES. FUENTE: BATTERYUNIVERSITY.COM

La mejor batería en materia de energía específica y de potencia específica es la secundaria de litio metálico (Li-metal). Una primera versión fue introducida en la década de 1980 por “Moli Energy”, pero la inestabilidad con el litio metálico en el ánodo provocó su retirada en 1991. El litio sólido tiende a formar filamentos de metal, o dendritas, que causan cortocircuitos.

Las cualidades únicas de Li-metal están impulsando a los fabricantes a revisar esta poderosa química. El control las dendritas y lograr un estándar de seguridad puede lograrse mediante la mezcla del litio metálico con estaño y silicio. El grafeno también está siendo probado como parte de un separador mejorado. El grafeno es una capa delgada de carbono puro con un espesor de un átomo enlazado en un panal hexagonal.

También se han probado varias capas de separadores que impiden la penetración de las dendritas. Las nuevas baterías de Li-metal experimentales logran 300Wh / kg y el potencial es mucho mayor. Esto es de especial interés para el vehículo eléctrico.

En la siguiente tabla, se muestra una comparación en diversos aspectos de los distintos tipos de baterías.

Specifications	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion ¹		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific energy (Wh/kg)	30–50	45–80	60–120	150–250	100–150	90–120
Internal resistance	Very Low	Very low	Low	Moderate	Low	Very low
Cycle life² (80% DoD)	200–300	1,000 ³	300–500 ³	500–1,000	500–1,000	1,000–2,000
Charge time⁴	8–16h	1–2h	2–4h	2–4h	1–2h	1–2h
Overcharge tolerance	High	Moderate	Low	Low. No trickle charge		
Self-discharge/ month (room temp)	5%	20% ⁵	30% ⁵	<5% Protection circuit consumes 3%/month		
Cell voltage (nominal)	2V	1.2V ⁶	1.2V ⁶	3.6V ⁷	3.7V ⁷	3.2–3.3V
Charge cutoff voltage (V/cell)	2.40 Float 2.25	Full charge detection by voltage signature		4.20 typical Some go to higher V		3.60
Discharge cutoff voltage (V/cell, 1C)	1.75V	1.00V		2.50–3.00V		2.50V
Peak load current Best result	5C ⁸ 0.2C	20C 1C	5C 0.5C	2C <1C	>30C <10C	>30C <10C
Charge temperature	–20 to 50°C (–4 to 122°F)	0 to 45°C (32 to 113°F)		0 to 45°C ⁹ (32 to 113°F)		
Discharge temperature	–20 to 50°C (–4 to °F)	–20 to 65°C (–4 to 49°F)		–20 to 60°C (–4 to 140°F)		
Maintenance requirement	3–6 months ¹⁰ (topping chg.)	Full discharge every 90 days when in full use		Maintenance-free		
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuse protection		Protection circuit mandatory ¹¹		
In use since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999
Toxicity	Very high	Very high	Low	Low		
Coulombic efficiency¹²	~90%	~70% slow charge ~90% fast charge		99%		
Cost	Low	Moderate		High ¹³		

TABLA 2 CARACTERÍSTICAS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE BATERÍAS. FUENTE: BATERRYUNIVERSITY.COM

Notas:

1. La combinación de cobalto, níquel, manganeso y aluminio aumenta la densidad de energía hasta 250Wh / kg.

2. La vida en ciclos se basa en la profundidad de descarga (DoD). A menor DOD, mayor nº de ciclos puede dar.
3. La vida en ciclos de la batería depende del mantenimiento regular de esta para evitar el efecto memoria.
4. Las baterías de carga ultra rápida no se contemplan en esta tabla al tratarse de casos más concretos.
5. La auto descarga es más alta inmediatamente después de la carga. El NiCd pierde un 10% en las primeras 24 horas, luego disminuye a un 10% cada 30 días. La alta temperatura y el envejecimiento aumenta la auto descarga.
6. 1.25V es lo tradicional; 1.20V es más común.
7. Los fabricantes pueden estimar un voltaje más alto debido a la baja resistencia interna (marketing).
8. Capaz de dar altos impulsos de corriente; necesita tiempo para recuperarse.
9. No hay que recargar el Li-ion a temperaturas por debajo de 0°C.
10. El mantenimiento puede ser en forma de igualar o cargar al máximo para evitar la sulfatación.
11. El circuito de protección corta por debajo de 2.20V y por encima de 4.30V en la mayoría de ion-litio; diferentes valores de voltaje se aplican para el litio-hierro-fosfato.
12. La eficiencia de Coulomb es mayor si se carga rápidamente.
13. EL Ion-litio puede tener menor coste por ciclo que el plomo-ácido.

3.3 Características y causas de envejecimiento de los tipos de baterías a analizar

Para nuestro proyecto, vamos a analizar dos tipos de baterías, las de plomo, por tener un precio bajo y ser la química más antigua utilizado como batería recargable; y las de litio, que es la química que está en pleno auge debido a que cada vez es más barata y logra un gran número de ciclos de vida útil.

3.3.1 Baterías de plomo

La batería de plomo fue inventada por el francés Gaston Planté en 1859, y se convirtió en la primera batería recargable para uso comercial. A pesar de las nuevas químicas que han surgido desde entonces, esta se sigue usando ampliamente, esto es debido a dos factores, su seguridad y su bajo precio.

La batería está formada por un depósito de ácido sulfúrico y dentro de él un conjunto de placas de plomo, paralelas entre sí y dispuestas alternadamente en cuanto a su polaridad (positiva (+) y negativa (-)).

Generalmente, en su fabricación, las placas positivas están recubiertas o impregnadas de dióxido de plomo (PbO_2), y las negativas están formadas por plomo esponjoso.

Durante el proceso de carga inicial, el sulfato de plomo (II) es reducido a plomo metal en las placas negativas, mientras que en las positivas se forma óxido de plomo (IV) (PbO_2).

Durante la descarga se invierten los procesos de la carga. El óxido de plomo (IV) es reducido a sulfato de plomo (II) mientras que el plomo elemental es oxidado para dar igualmente sulfato de plomo (II). Los electrones intercambiados se aprovechan en forma de corriente eléctrica por un circuito externo.

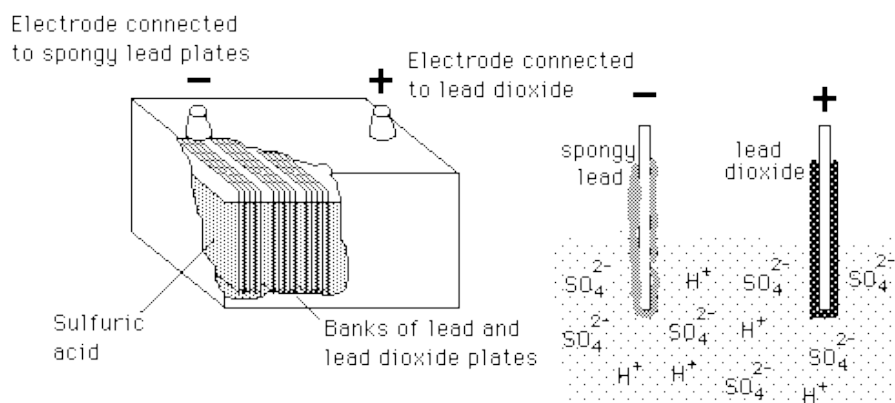


FIGURA 18 ESTRUCTURA Y PROCESO QUÍMICO DE LA BATERÍA DE PLOMO. FUENTE:
[HTTP://HYPERPHYSICS.PHY-ASTR.GSU.EDU/](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/)

Sus principales desventajas son que es una batería pesada y que tiene una vida más corta que las otras químicas al realizarse ciclos profundos. Una descarga completa causa tensiones en la estructura interna de ésta, y cada ciclo de carga/descarga disminuye permanentemente una pequeña cantidad de capacidad de almacenamiento.

3.3.2 Baterías de litio

El trabajo pionero de la batería de litio comenzó en 1912 bajo G. N. Lewis, pero no fue hasta la década de 1970 que las primeras baterías de litio no recargables se comercializaron. Los intentos para desarrollar baterías recargables de litio siguieron en la década de 1980, pero fracasaron debido a las inestabilidades en el litio metálico utilizado como material del ánodo. (La batería de litio-metal utiliza litio como ánodo; la de ion-litio utiliza grafito como ánodo y materiales activos en el cátodo).

El litio es el más ligero de todos los metales, tiene el mayor potencial electroquímico y proporciona la mayor energía específica por kg. Las baterías recargables con metal de litio en el ánodo podrían proporcionar densidades extraordinariamente altas de energía; sin embargo, se descubrió a mediados de la década de 1980 que el ciclado produce dendritas no deseadas en el ánodo. Estas partículas de crecimiento penetran en el separador y provocan un cortocircuito eléctrico. La temperatura de la celda se elevaría de forma rápida y se acercaría al punto de fusión del litio, causando la fuga térmica. Un gran número de baterías de litio metálico recargables enviadas a Japón fueron retiradas del mercado en 1991 después de que una batería de un teléfono móvil lanzara llamaradas e infligiera quemaduras en la cara de un hombre.

La inestabilidad del metal de litio, especialmente durante la carga, provocó la investigación de una solución usando iones de litio no metálicos. En 1991, Sony comercializó la primera ion-litio, y hoy en día, esta química se ha convertido en la más prometedora y de mayor crecimiento en el mercado. Aunque de menor energía específica que el litio-metal, el ion-litio es seguro, siempre que se respeten los límites en la tensión y las corrientes.

El ion-litio es una batería de bajo mantenimiento, una ventaja que la mayoría de las otras químicas no tienen. La batería no tiene memoria y no necesita “hacer ejercicio” (descargarla completamente) para mantenerla en buen estado. La autodescarga es menos de la mitad que en los sistemas de base de níquel. El voltaje nominal de la celda es de 3.60V y puede alimentar directamente teléfonos móviles, tablets y cámaras digitales, ofreciendo simplificaciones y reducciones de costes respecto a los diseños multi celda. Los inconvenientes son la necesidad de circuitos de protección y su alto precio.

El ion-litio utiliza un cátodo (electrodo positivo), un ánodo (electrodo negativo) y electrolitos como conductor. El cátodo es óxido de metal y el ánodo consiste en carbono poroso. Durante la descarga, los iones fluyen desde el ánodo al cátodo a través del

electrólito y el separador; la carga invierte la dirección y los iones fluyen desde el cátodo al ánodo.

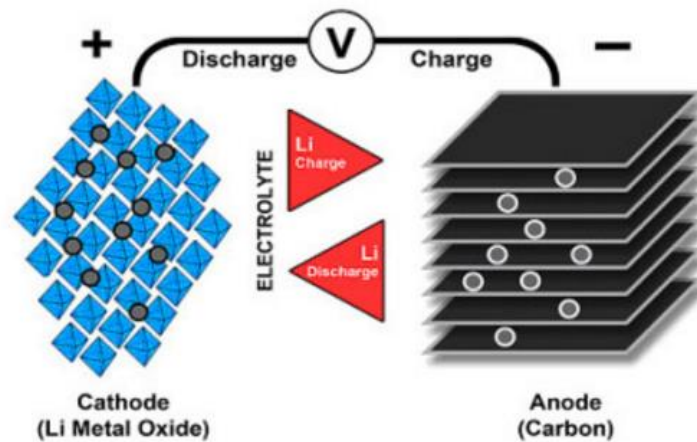


FIGURA 19 FLUJO DE IONES EN LA BATERÍA DE LITIO. FUENTE: BATTERYUNIVERSITY.COM

3.3.3 Causas del envejecimiento de las baterías

Las baterías envejecen tanto cuando están sin intercambiar energía (Calendar ageing) como cuando están intercambiando energía (Cycling ageing). En el primer paso, aparte del paso del tiempo, hay dos factores principales que intervienen en el envejecimiento: la temperatura y el SOC (estado de carga).

Por otro lado, en el envejecimiento debido al ciclado intervienen también el DOD (profundidad de descarga) y el C-rate (velocidad de descarga).

En la práctica, estos fenómenos se traducen en 2 repercusiones: El aumento de la resistencia interna de la batería y una pérdida de capacidad.

La sulfatación y la corrosión son los principales problemas de las baterías de plomo ácido. La sulfatación es una capa delgada que se forma en la placa negativa si se deja que la batería permanezca en un estado de carga bajo. La corrosión ocurre principalmente en la rejilla.

En el caso del calendar ageing, la disminución de capacidad es lineal. El proceso de envejecimiento del ion-litio es la oxidación de las celdas que es un proceso que se produce de forma natural al usar la batería y no puede ser revertido.

Para entender el porqué del envejecimiento de estas baterías, hay que introducir un nuevo concepto, la eficiencia de coulomb (CE), que define el ratio mediante el cual se transfieren los electrones en un sistema electroquímico durante la carga y descarga. Cuanto mayor sea la eficiencia, a menor estrés se verá sometida la batería y mayor será su vida útil.

Durante la carga, el litio “gravita” hacia el ánodo de grafito (electrodo negativo) y cambia el voltaje potencial. Eliminando el litio del ánodo al producirse la descarga, no se consigue restablecer la batería completamente. Esto es debido a que se forma una película llamada interfaz de electrolito sólido (SEI) que está compuesta por átomos de litio en la superficie del ánodo. Esta película está compuesta por óxido de litio y carbonato de litio y crece a medida que se producen ciclos de carga/descarga. La película se va haciendo más gruesa hasta que forma una barrera que obstruye la interacción con el grafito.

Además, el cátodo, desarrolla una capa restrictiva similar conocida como oxidación del electrolito y se produce en voltajes altos en torno a 4,1 V/celda con elevadas temperaturas llegando a ser más perjudicial que el ciclado.

La suma de estos dos procesos puede dar lugar a una pérdida súbita de la capacidad, que es difícil de predecir mediante el testeo de la duración de la batería solamente a través del ciclado.

Se tiene que tener en cuenta que el CE varía en función de la temperatura y la ratio de descarga (C-rate).

En la siguiente tabla se pueden ver los distintos sistemas de ion-litio y su eficiencia de coulomb. El CE esta descrito en términos lingüísticos para simplificarlo, ya que es una tabla comparativa y no existe un número por el cual guiarse.

Nombre químico	Material	CE	Notas
Litio cobalto oxido (LCO) cátodo	LiCoO_2 (60% Co)	Bueno Ligera caída entorno a los 55°C	Alta capacidad, potencia limitada; frágil. teléfono móvil, ordenador portátil
Litio Manganese óxido (LMO) cátodo	LiMn_2O_4	Pobre Disminuye adicionalmente a partir de 40°C	Alta capacidad, alta potencia, herramientas eléctricas, bicicletas eléctricas, VE
Litio Hierro Fosfato (LFP) cátodo	LiFePO_4	Moderado Disminuye a los 55°C	
Litio Níquel Manganese Cobalto Oxido (NMC) cátodo	LiNiMnCoO_2 (10–20% Co)	Bueno, ligera caída a los 60°C	
Litio Níquel Cobalto Aluminio Óxido (NCA) cátodo	LiNiCoAlO_2 (9% Co)	-	Sistema de propulsión eléctrica (Tesla Model S), la red de almacenamiento
Titanato de litio	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	Excelente	Muy duradero, pero es caro y de baja energía específica

TABLA 3 CE DE LAS BATERÍAS DE LITIO

4.MODOS DE OPERACIÓN DE BATERÍAS EN ENTORNOS DOMÉSTICOS

La batería doméstica proporciona independencia energética al poder mantener el hogar alimentado incluso sin la red eléctrica. Si se combina con paneles solares, se puede lograr aislarse de la red. Y, en una aplicación diaria, se puede ahorrar dinero optimizando el uso de la energía de la red y cuando la de la batería. En resumen, la batería doméstica tiene diferentes modos de uso.

La nueva generación de baterías domésticas entró en el mercado estadounidense en 2015 y solo cuenta con unos pocos miles de baterías instaladas. En otros países, como Japón y Alemania, ya cuentan con más de 30.000 baterías instaladas. (Fuente: <https://www.swellenergy.com/faq>)

En este punto se van a describir los posibles modos de operación en el que pueden funcionar las baterías en el hogar.

4.1 Energy arbitrage

En este modo de funcionamiento, el objetivo es reducir al máximo la factura de la luz, cargando la batería cuando la energía es más barata(23h-13h), y descargándola cuando es más cara(13h-23h).

Para ello, se necesita conocer el precio de la luz en cada hora y disponer de datos de consumo de la vivienda de periodos anteriores para poder realizar una optimización de la carga y descarga de la batería.

- Carga de la batería: Cuando la electricidad es más barata.
- Descarga de la batería: Cuando la electricidad es más cara.
- Ventajas: Maximiza el ahorro en la compra de energía.
- Desventajas: Es difícil de programar ya que no sabes los consumos que tendrás al día siguiente, por lo que tienes que predecir qué consumo tendrás basándote en datos históricos.

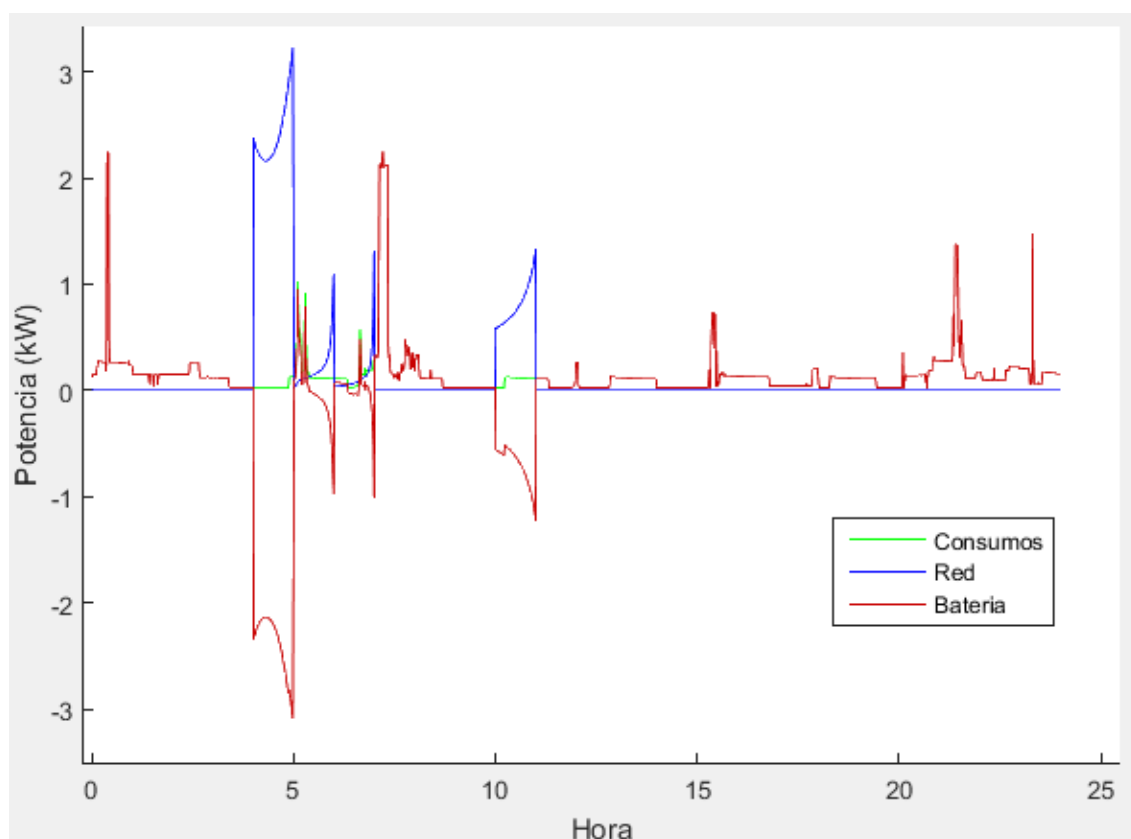


FIGURA 20 CONSUMO, POTENCIA SUMINISTRADA POR LA RED Y POTENCIA SUMINISTRADA POR LA BATERÍA

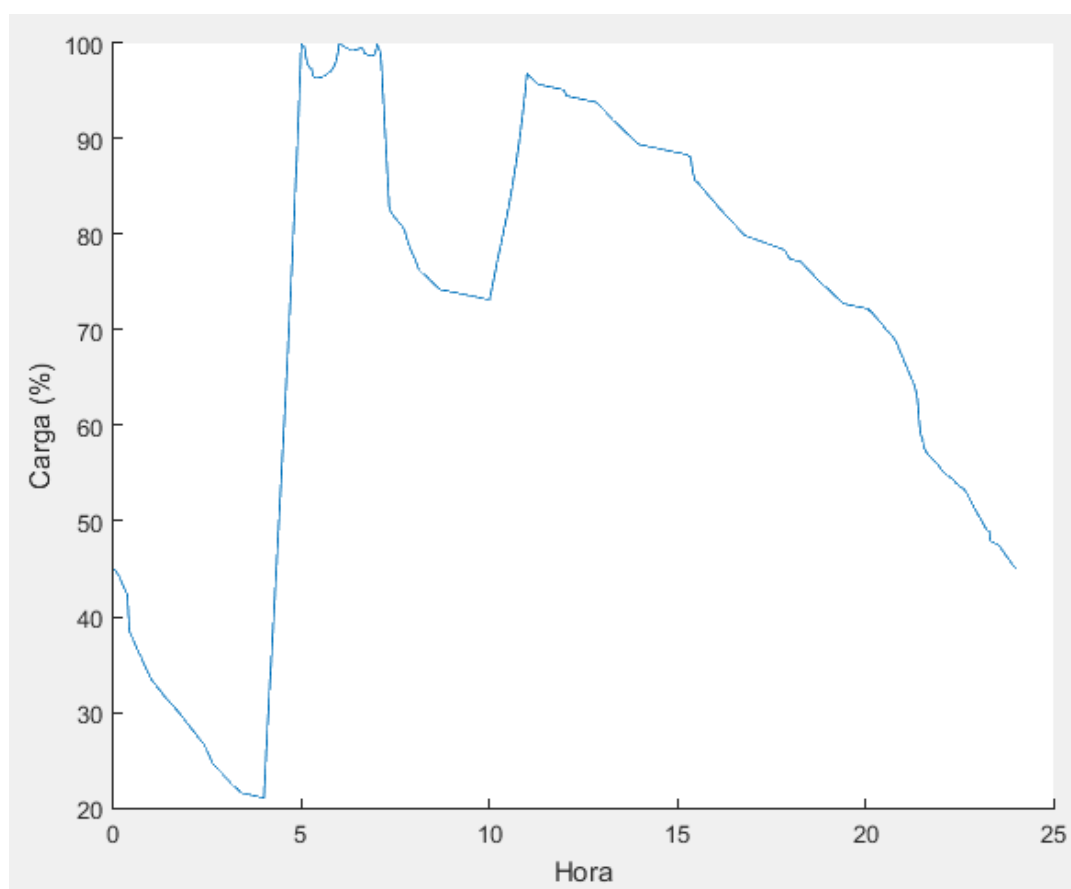


FIGURA 21 ESTADO DE CARGA DE LA BATERÍA

Tal como se aprecia en las gráficas, la batería se carga durante el periodo en el que es más barata la electricidad (23h-13h), mientras que en el resto del día cubre la demanda existente. La electricidad de la red se usa básicamente en cargar la batería y en algún momento puntual.

Este comportamiento, evidentemente, depende del consumo, la capacidad de la batería y el estado de carga en el que esté, por lo que cada caso es independiente del resto.

4.2 Filtrado de picos de demanda

El filtrado de picos de demanda consiste en que la batería solo actúa cuando el consumo supera un cierto valor. Existen varios métodos dentro de este punto:

Punto máximo fijo

Este método limita la demanda de la red del consumidor en cualquier momento a un valor prefijado. La batería se carga completamente de la red durante la noche, cuando la energía es más barata. Este método se puede resumir en:

- Carga de la batería: Desde la red, cuando no existen picos de demanda.
- Descarga de la batería: Cuando se supera el valor prefijado.
- Ventajas: Proporciona una reducción del consumo máximo, por lo que se puede reducir la potencia contratada.
- Desventajas: Al ser un punto fijo, el cual no varía durante el día, puede resultar que la batería se utilice por debajo de su capacidad, no aprovechando toda la energía que puede dar.

En el siguiente ejemplo vamos a probar a limitar el consumo a partir de 1 kW.

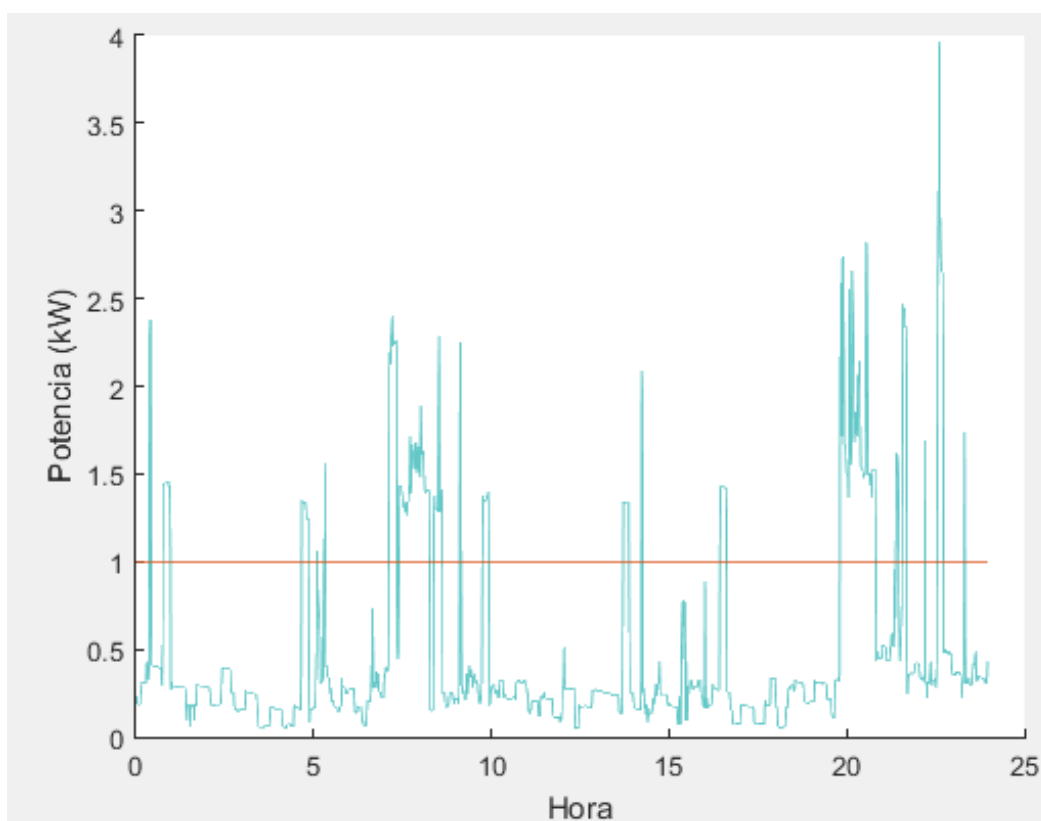


FIGURA 22 POTENCIA CONSUMIDA SIN BATERÍA

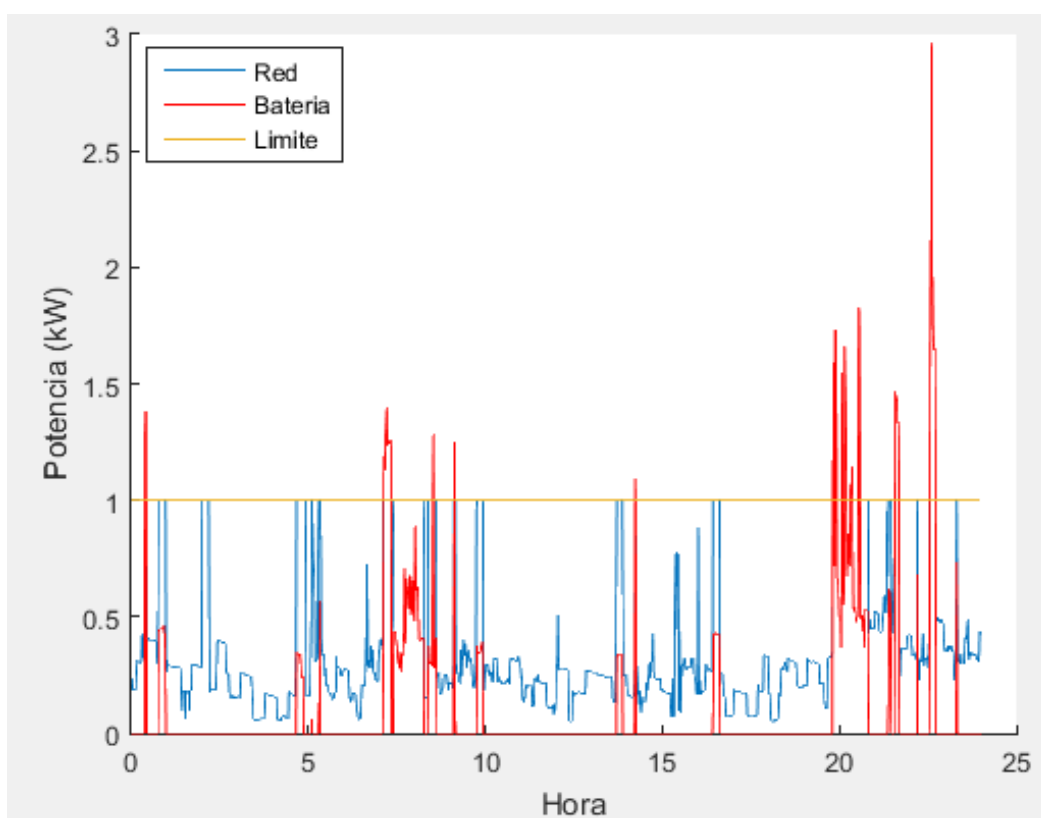


FIGURA 23 POTENCIA CONSUMIDA DE LA RED Y LA SUMINISTRADA POR LA BATERÍA

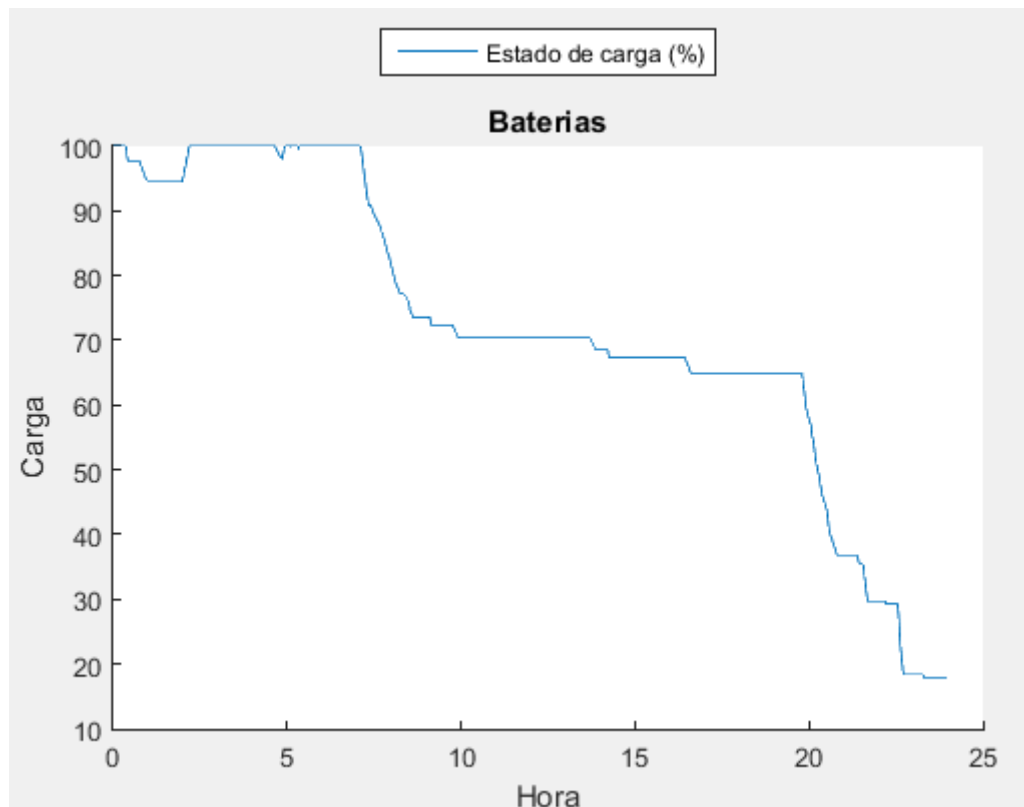


FIGURA 24 ESTADO DE CARGA DE LA BATERÍA

Como se puede observar, hemos limitado que la potencia máxima que se consume de la red sea de 1 kW, donde el resto de potencia necesaria lo suministrará la batería.

Punto máximo dinámico

Es la evolución del método anterior a una aproximación dinámica donde el punto máximo se calcula diariamente con el objetivo de usar un tanto por ciento de la energía almacenada en la batería al final del día. Si se usa poco la batería, se modifica el punto máximo para el día siguiente y así sucesivamente.

- Carga de la batería: Desde la red, cuando no existen picos de demanda.
- Descarga de la batería: Basado en el histórico de datos se establece un punto máximo para cada día, cuando se supere, la batería se descarga.
- Ventajas: Permite al sistema de almacenamiento conocer los patrones de demanda del consumidor y poder optimizar mejor el uso de la batería.
- Desventajas: No se puede predecir exactamente la demanda.

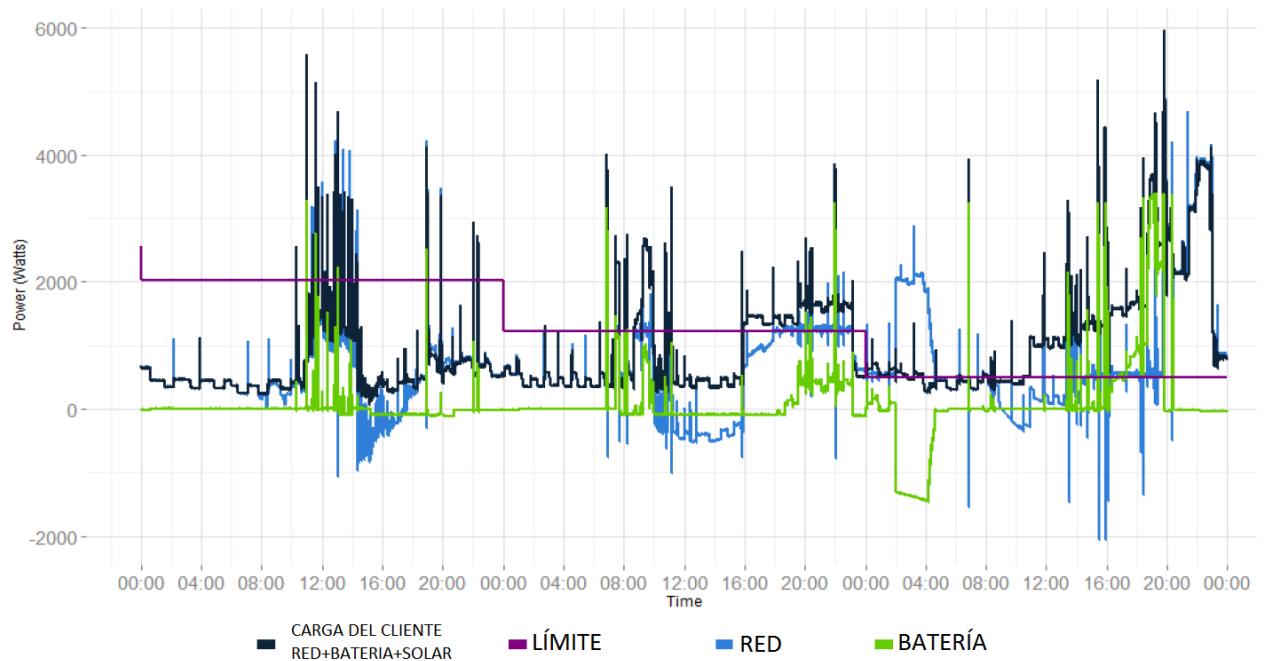


FIGURA 25 EJEMPLO PUNTO MÁXIMO DINÁMICO. FUENTE [HTTPS://WWW.AUSNETSERVICES.COM.AU/](https://www.ausnetservices.com.au/)

La gráfica muestra este modo de operación para 3 días. El punto máximo dinámico (morado) inicialmente es demasiado elevado, por lo que solo una pequeña parte de la capacidad de la batería se usa. En el segundo y tercer día, el límite se recalcula y se disminuye. Esto ocasiona que se use más energía de la batería para cubrir la demanda.

Descarga programada

Este método asegura un 100 % de descarga de la batería y consiste básicamente en cargar la batería cuando la energía es más barata y descargarla completamente en el periodo de tiempo en el que es más cara, dando lugar a un exceso de energía que se venderá a la red.

- Carga de la batería: Cuando la energía es más barata.
- Descarga de la batería: En el periodo de tiempo fijado.
- Ventajas: Descarga del 100% de la capacidad de la batería.
- Desventajas: El vender energía a la red puede no resultar rentable.

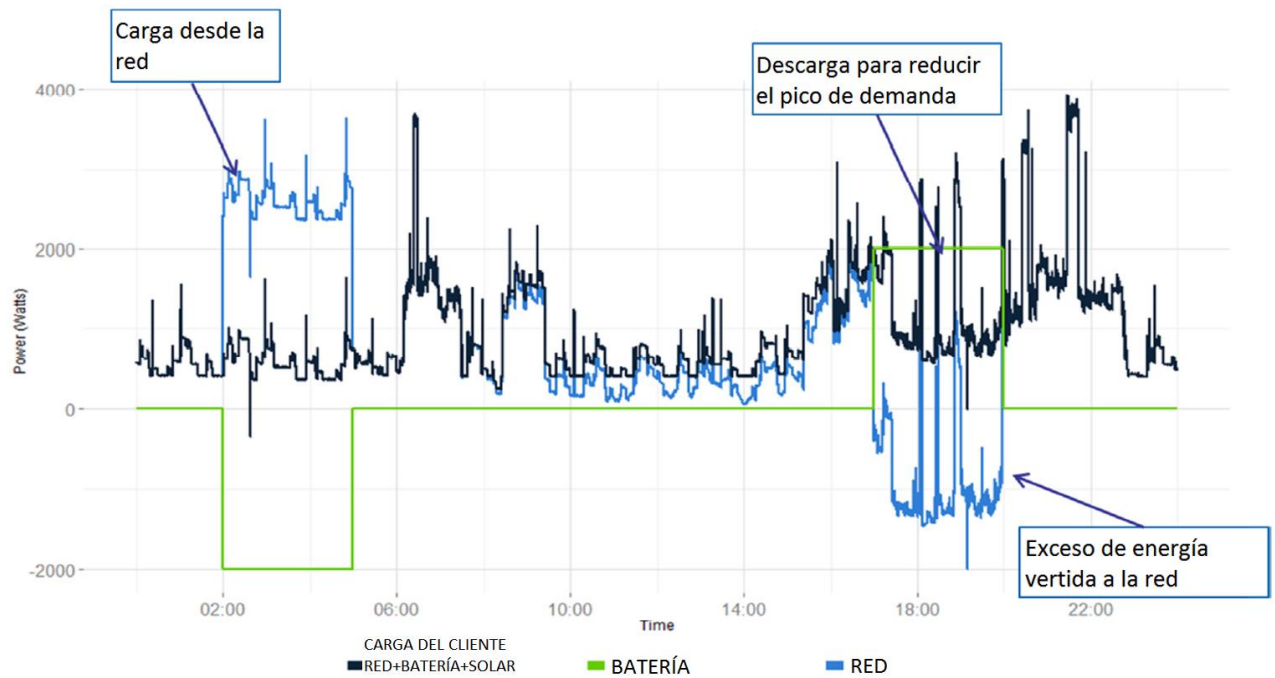


FIGURA 26 EJEMPLO MÉTODO DESCARGA PROGRAMADA. FUENTE [HTTPS://WWW.AUSNETSERVICES.COM.AU/](https://www.ausnetservices.com.au/)

La gráfica muestra que la batería se carga completamente durante la noche, permaneciendo inactiva durante el día estando programada para que se descargue a 2 kW entre las 17h y las 20h. Durante ese periodo, no solo se reduce la carga del cliente, sino que exporta a la red lo sobrante.

4.3 Funcionamiento en aislada

Este caso es básicamente que no disponemos de una red a la que conectarnos, con lo que se produce la energía a través de las renovables, (solar y eólica) y mediante las baterías se acumula la energía sobrante para utilizarla cuando produzcamos menos que lo que consumimos.

- Carga de la batería: Cuando haya exceso de energía.
- Descarga de la batería: Cuando la demanda supere a la producción.
- Ventajas: No consumimos energía de la red.
- Desventajas: Se puede dar el caso de quedarnos sin energía debido a varios factores, (producción baja, consumo alto, ...).

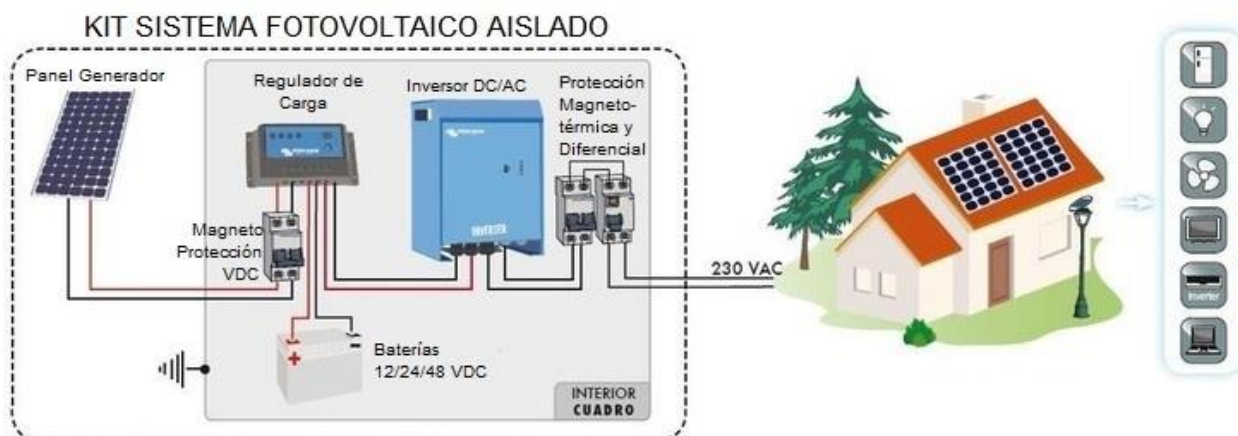


FIGURA 27 INSTALACIÓN DE UNA VIVIENDA EN AISLADA. FUENTE [HTTP://INGEMECANICA.COM/](http://ingemecanica.com/)

5.MÉTODOS DE CONTEO DE CICLOS

5.1 Introducción a la problemática

Como se ha explicado anteriormente, una de las principales causas envejecimiento de las baterías es el ciclado de éstas. El ciclado se refiere a los ciclos de carga/descarga a los que está sometida la batería durante un periodo de tiempo.

Cada batería tiene asociada una curva de ciclos que puede soportar en función de la profundidad de descarga de ese ciclo (DOD), por lo que nos interesa saber para un periodo de tiempo concreto, cuantos ciclos y de qué profundidad se han producido en la batería, para posteriormente compararlos con la curva y calcular la vida de esa batería.

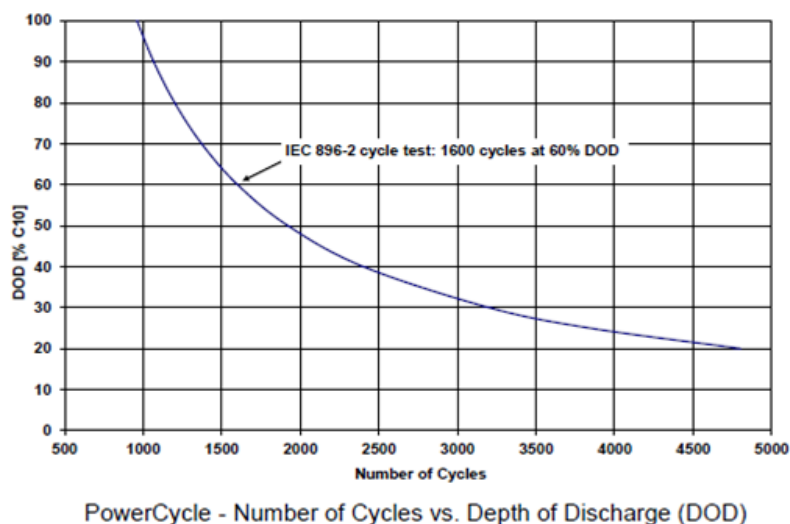


FIGURA 28 CURVA DE CICLOS DE DESCARGA VS DOD

Para realizar esto, se requiere de un método matemático que permita contar los ciclos y clasificarlos en función de su profundidad.

Definida la fatiga como un término general que describe la degradación de las propiedades de un material (resistencia, rigidez...) cuando se somete a cargas repetidas que, tomadas individualmente, no serían por si mismas causa de rotura, el ciclado sería el equivalente a la fatiga en una batería, que la degradación que causan en esta, supone una pérdida de su capacidad y finalmente su fin de vida útil.

Los métodos descritos a continuación, fueron ideados originalmente para su aplicación en el campo del análisis de fatiga, pero son igualmente válidos para nuestro estudio como demuestran los estudios consultados [13], [14].

5.2 Algoritmos existentes

El propósito de todos los métodos de conteo de ciclos es considerar el efecto que tiene la aplicación de series de ciclos de cargas de amplitud variable sobre los datos obtenidos mediante ciclados de amplitud constante. Para poder realizar el análisis de vida, se utiliza la regla de Palmgren-Miner.

La premisa básica de la hipótesis de Palmgren-Miner consiste en aceptar que la energía aplicada durante cualquier ciclo de cargas tiene un efecto acumulativo en el deterioro de un material. También, que no importa en qué momento de la historia se produzca, el daño será el mismo.

La aplicación de la regla de daño lineal de Palmgren-Miner, requiere el conocimiento de las condiciones (valor medio y amplitud de los ciclos) con las cuales debe compararse el evento perjudicial, por lo que se requiere establecer un procedimiento de conteo de ciclos.

El primer paso para transformar la historia de cargas irregular en una historia de cargas uniforme y equivalente, es el cómputo de ciclos de la señal original. Hay varios métodos recogidos por la ASTM E1049-85 (2011), como prácticas estándar en el cómputo de ciclos para el análisis de fatiga.

Los más ampliamente utilizados son:

- Método del flujo de lluvia o Rainflow (Rainflow Counting Method o RFCM).
- Método del conteo por picos (Peak Counting Method o PCM).
- Método del conteo por cruce de nivel (Level-Crossing Counting Method o LCCM).
- Método del rango simple (Simple-Range Counting Method o SRCM).

Método de Rainflow (RFCM)

El método de Rainflow, propuesto originalmente por Matsuishi y Endo en 1968, es un método de conteo que intenta identificar ciclos cerrados de histéresis en la respuesta esfuerzo-deformación de un material sujeto a cargas cíclicas de amplitud variable.

A partir de la historia Carga-tiempo, representada de modo que el eje temporal sea vertical y creciente hacia abajo, el método establece una analogía entre las líneas horizontales que van entre un punto de reversión y el rango subsiguiente con un flujo de lluvia que desciende por una serie de techos estilo pagoda definido por la representación en picos y valles de la historia considerada.

El procedimiento de conteo se lleva a cabo de acuerdo a las siguientes reglas:

- Reducir la historia temporal a una secuencia de picos y valles.
- Representar la historia reducida con el eje de tiempo dispuesto en forma vertical (creciente hacia abajo). Imaginar dicha representación como una serie de techos estilo pagoda.
- Imaginar cada punto de reversión (pico o valle) como fuente de un flujo de agua que cae por los techos.

Para contar el número de ciclos se consideran los siguientes puntos

- 1) Un flujo naciente en un pico se interrumpe cuando se alcanza un pico de magnitud mayor o igual al pico fuente o cuando se encuentra con un flujo previo.
- 2) Un flujo naciente en un valle se interrumpe cuando se alcanza un valle de magnitud mayor o igual al valle fuente (i.e. un valle más profundo) o cuando se encuentra con un flujo previo.
- 3) Cualquier flujo se interrumpe al final de la historia.
- 4) Asignar una magnitud a cada medio ciclo igual a la longitud de la distancia horizontal recorrida por el flujo entre su comienzo y su final.
- 5) Agrupar los medios ciclos de igual magnitud (pero sentido opuesto) para contar el número de ciclos completos. Típicamente, quedan algunos medios ciclos residuales.

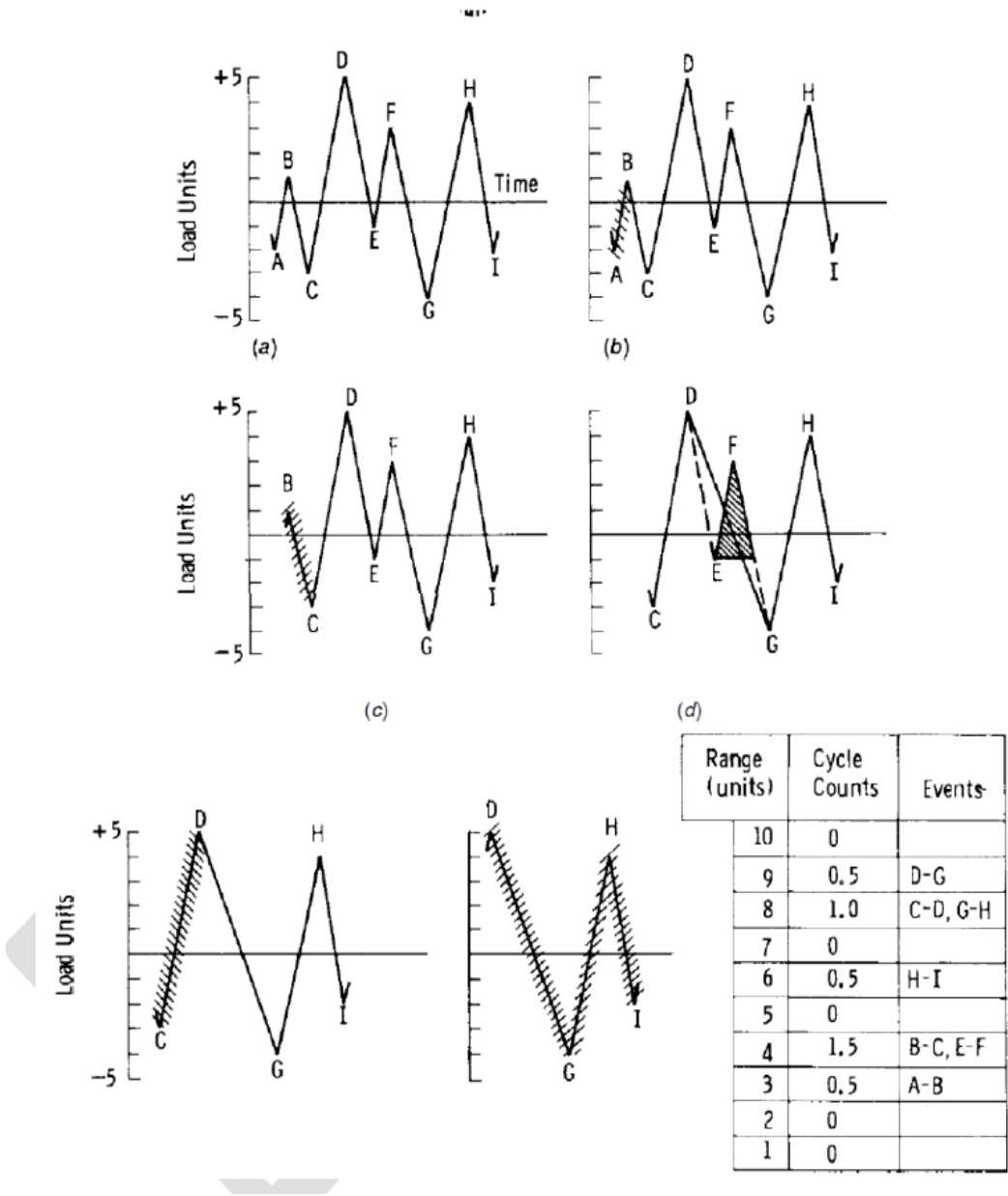


FIGURA 29 EJEMPLO DE CONTEO CON EL MÉTODO DE RAINFLOW. ASTM E1049-85, 2011.

Método de conteo por picos (PCM)

El método de conteo por picos identifica la ocurrencia de valores de carga, tensión o deformación máximos y mínimos relativos (p.e. picos y valles), pero solo considera en su análisis a los picos por encima de cierto nivel de referencia y a los valles por debajo del mismo nivel.

Este método construye rangos considerando el pico más alto y el valle más bajo, seguido del segundo rango más grande, etc., hasta que todos los rangos son consideradas.

Una simplificación usada a menudo para ignorar fluctuaciones de pequeña amplitud es efectuar un conteo de picos y valles basado en el cruce por el valor medio (Mean-crossing peak counting o MCPC), donde en vez de contar todos los picos y valles, solo se considera el mayor pico o valle entre dos cruces sucesivos por el nivel medio.

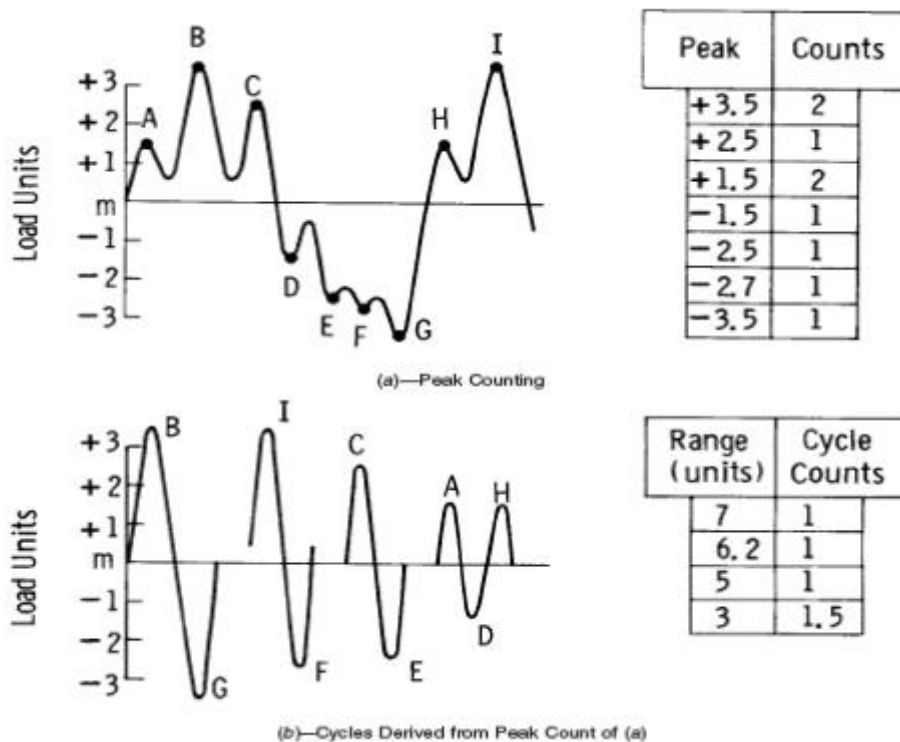


FIGURA 30 EJEMPLO DE CONTEO CON EL MÉTODO DE CONTEO DE PICOS, DONDE M ES EL NIVEL DE REFERENCIA MEDIO ASTM E1049-85, 2011.

Método por cruce de nivel (LCCM)

En este procedimiento, el eje de la carga de la gráfica carga-tiempo se divide en niveles de carga. Este método sólo funciona si se sitúa el cero de la serie en su valor medio. Se cuenta cada vez que una porción de la historia de cargas con pendiente positiva cruza un nivel positivo de carga. Así mismo, se cuenta también cada vez que una porción de la historia de cargas con pendiente negativa cruza un nivel negativo de carga. No hay distinción entre conteos realizados en una porción de la historia de cargas con pendiente positiva o negativa.

Una vez determinados los conteos, estos se combinan para formar ciclos completos. Existe una amplia variedad de métodos de combinación de conteos para obtener ciclos completos. La combinación de conteo más perjudicial, desde un punto de vista de la fatiga, es la que busca ciclos con la mayor amplitud posible permitida por los cruces de nivel todavía disponibles.

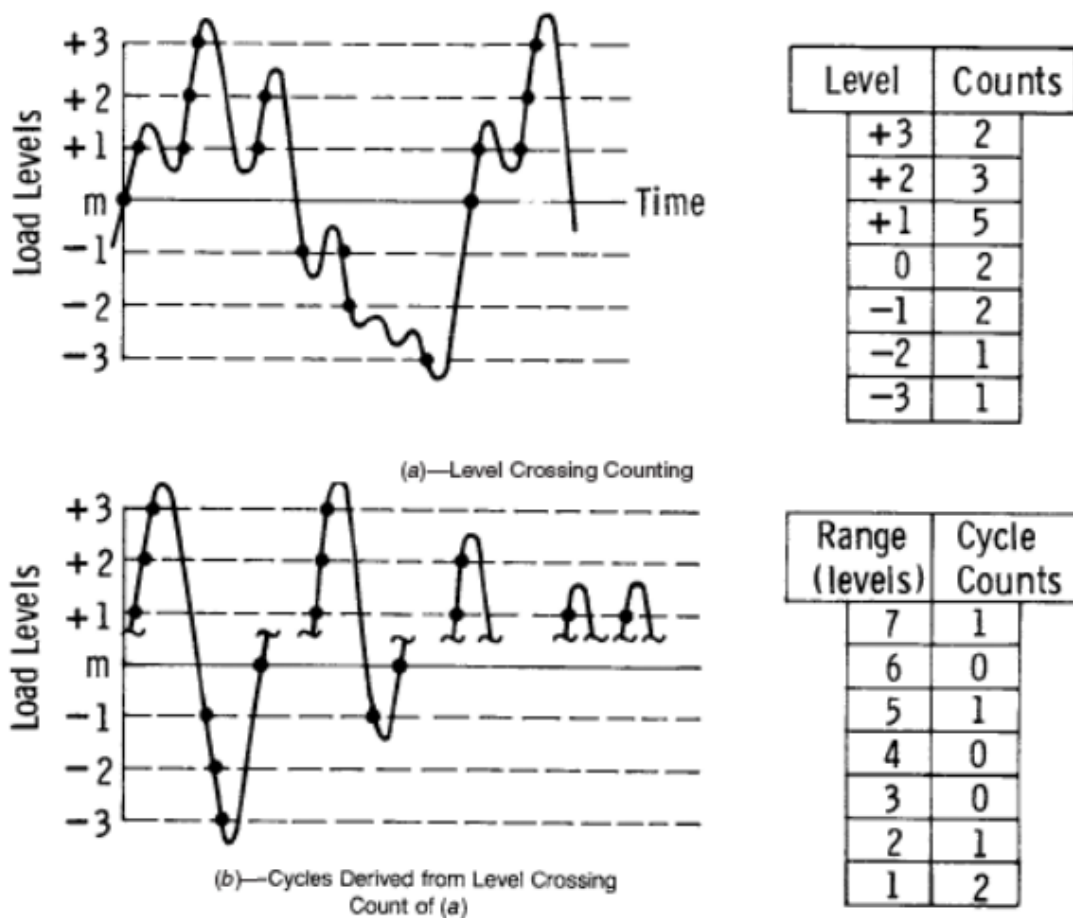


FIGURA 31 EJEMPLO DE CONTEO CON EL MÉTODO DE CRUCE DE NIVEL, DONDE M ES EL NIVEL DE REFERENCIA MEDIO. ASTM E1049-85, 2011.

Método del rango simple (SRCM)

Con este método se registra el rango (amplitud de carga) entre puntos de cambio de signo de la pendiente de la historia de carga. En el método de conteo, un ciclo está compuesto por dos rangos del mismo valor, y cada rango es considerado medio ciclo.

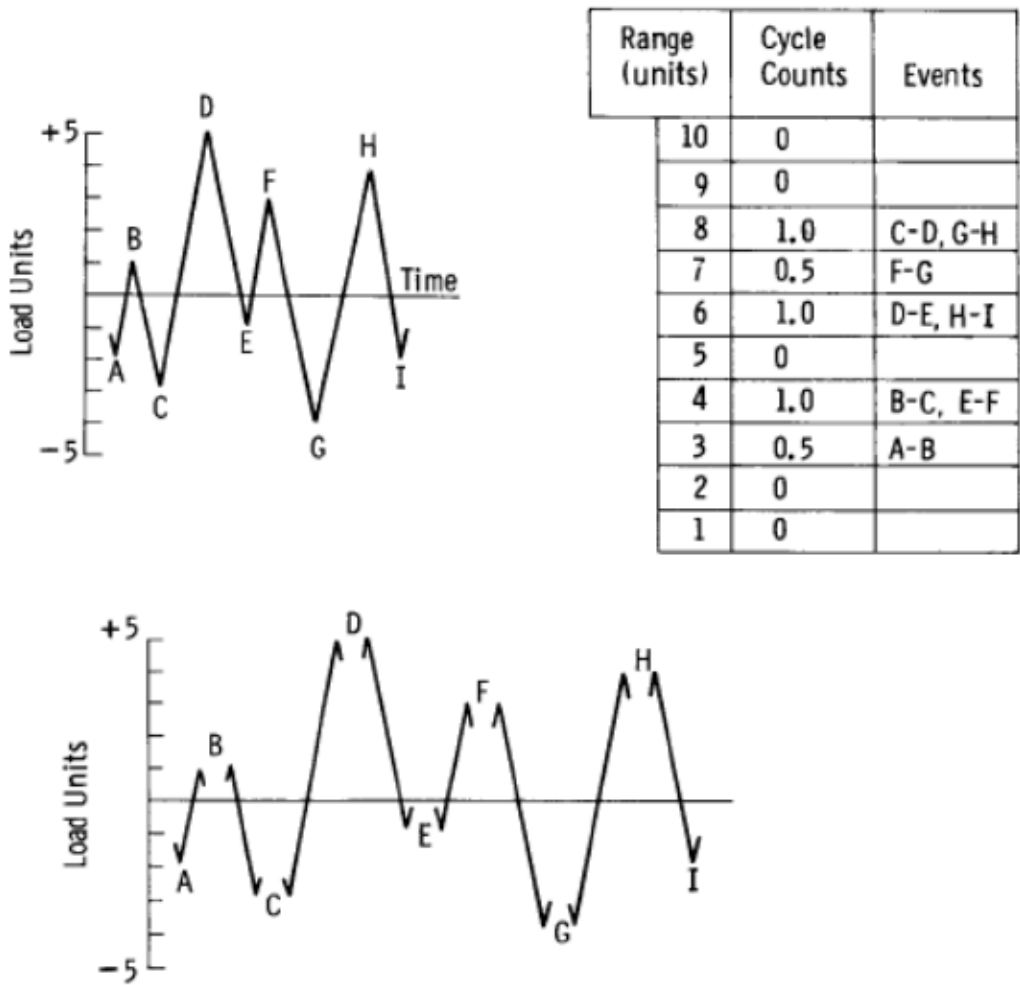


FIGURA 32 EJEMPLO DE CONTEO CON EL MÉTODO DEL RANGO SIMPLE. ASTM E1049-85, 2011.

5.3 Algoritmo utilizado

El algoritmo que vamos a usar en nuestro proyecto es el del rainflow. Se ha elegido este algoritmo, porque es el usado en la literatura consultada, además de que existe el código ya programado en MATLAB, realizado por Adam Nieslony.

Ahora vamos a explicar cómo funciona este algoritmo en el MATLAB.

En primer lugar, tenemos la función o comando “sig2ext” que presenta el siguiente formato:

$$[tp, tptime] = \text{sig2ext}(SOC, t)$$

Este comando, busca dentro de la curva de evolución de carga de la batería “SOC”, definida a lo largo de un vector de tiempo “t”, los puntos donde la pendiente de la curva cambia de sentido, así como su instante de tiempo. Es decir, este comando devuelve el valor de los picos y valles con su temporización (en nuestro caso, t tiene un valor cada minuto), y los almacena.

Una vez identificados los picos y valles, se le aplica la función o comando “rainflow”, cuyo formato es el siguiente:

$$rf = \text{rainflow}(tp, tptime)$$

Este comando calcula para cada pico/valle el valor de su amplitud y el número de ciclos (de carga y descarga) equivalentes con esa amplitud.

Finalmente, con la función “rfhist”, que presenta el siguiente formato:

$$[n_hist, x0] = \text{rfhist}(rf, 1:1:100)$$

Se obtiene la representación gráfica en forma de histograma de los ciclos de carga y descarga de cada profundidad calculados. Esto es, para cada posible amplitud de los ciclos entre el 1% y el 100% de la capacidad total de almacenamiento de la batería, se representa el nº de ciclos ocurridos.

Este es el funcionamiento del método rainflow pero, para calcular la vida de la batería, se tiene que aplicar la regla de Palmgren-Miner, que se responde a la siguiente fórmula:

$$P\acute{e}rdida\ de\ vida = \sum_{DOD=1}^{DOD=100} \frac{N^{\circ} \text{ciclos realizados}(DOD)}{N^{\circ} \text{ciclos teóricos}(DOD)} * 100$$

Donde el número de ciclos realizados en función del DOD es el resultado obtenido al aplicar el rainflow a nuestra curva de evolución del estado de carga de la batería y el número de ciclos teóricos son los ciclos teóricos que el fabricante estima que aguanta su batería en función de la DOD de los mimos.

Estos ciclos teóricos son normalmente ofrecidos por los fabricantes mediante una curva, la cual debe ser parametrizada para introducirla en el MATLAB y poder proceder a la aplicación de la regla de Palmgren-Miner.

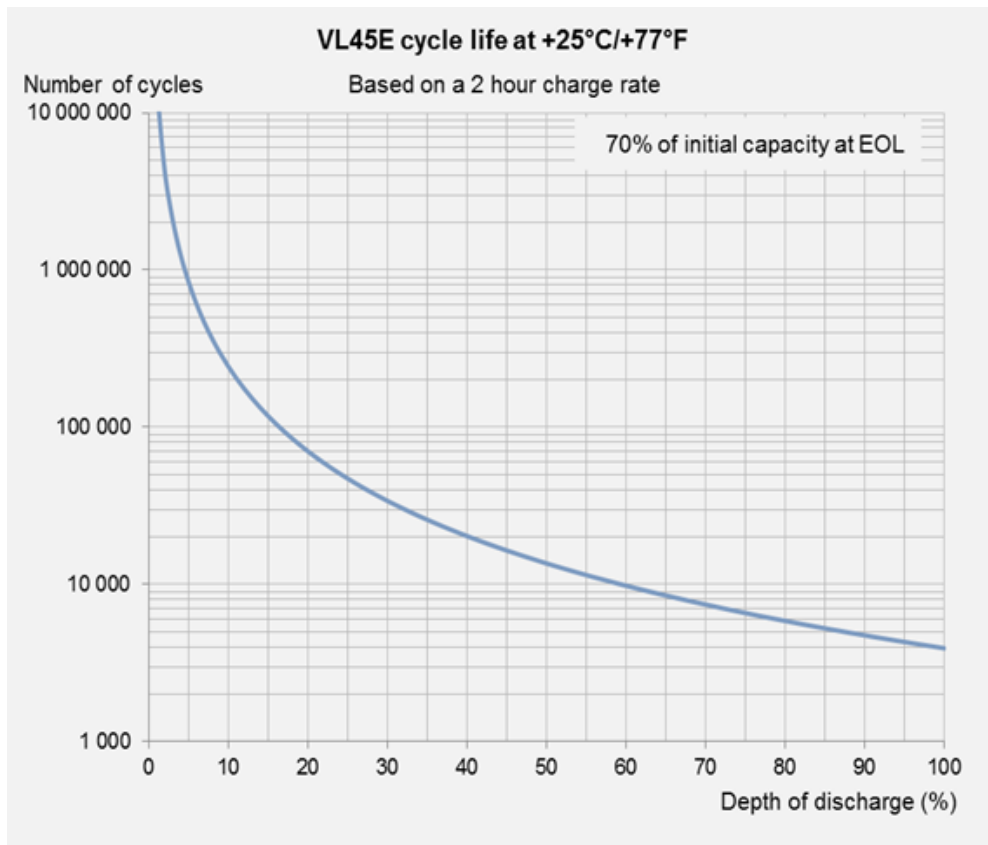


FIGURA 33 VIDA EN CICLOS DE LA CELDA VL45E

El resultado obtenido para la pérdida de vida está referido al número de días que se han simulado, en nuestro caso 30 o 1 mes, por lo que para obtener una estimación de la potencial vida en años, se realiza la siguiente operación:

$$Vida \text{ en años} = \frac{100/Pérdida \text{ de vida}}{12}$$

6. CÁLCULO DEL ENVEJECIMIENTO

En este apartado, vamos a proceder a analizar ya con datos reales de consumo el tiempo que tardan las baterías en dejar de ser útiles para distintos tipos de vivienda. Para ello, disponemos de datos de consumo de 3 viviendas diferenciadas, así como un cuarto caso en el que se ha sumado el consumo de 2 viviendas.

Para nuestro análisis vamos a simular los casos de filtrado de picos y un agregado de “filtrado de picos” + “energy arbitrage”.

6.1 Casos analizados

Para realizar este apartado disponemos de los consumos reales de 3 viviendas durante todo el mes de junio de 2016, con datos obtenidos cada minuto. A continuación, se enumeran las características de cada vivienda:

Localidad	Vivienda	Tamaño (m2)	Habitantes (niños/adolescentes/adultos/ancianos)	Sistema de calefacción	Aire acondicionado	Potencia contratada (kW)	Consumo mensual (kWh)
Castellón de la Plana	1	90	1/0/2/0	Bomba de calor	Centralizado	4,6	124,6
Castellón de la Plana	2	90	1/0/2/0	Bomba de calor	Bomba de calor	5,75	303,61
Alquerías del niño perdido	3	115	0/0/1/2	Eléctrica		5,75	272,73
-	4	-	-	-	-	5,75	428,21

TABLA 4 CARACTERÍSTICAS DE LOS HOGARES ANALIZADOS

La vivienda 4 no se corresponde a una vivienda en particular, sino que es la suma de la Vivienda 1 y de la vivienda 2. Este caso se analiza para poder ver los resultados de un hogar donde el consumo sea más elevado que el del resto, para así poder ampliar nuestro rango de análisis.

Las baterías que van a ser analizadas son las siguientes:

- 3 de plomo de la marca EXIDE
- 3 de litio de la marca SAFT.

Para realizar simulaciones realistas, hay que introducir algunas consideraciones en nuestros análisis asociadas a limitaciones tecnológicas de las baterías. De este modo, cabe señalar que:

- Las baterías de litio no pueden bajar del 10% del estado de carga para evitar las descargas del 100% de profundidad que reducen en mayor medida la vida útil.
- Las baterías de plomo no pueden bajar del 40% de su estado de carga para evitar un descenso drástico de la vida útil.

Por otro lado, para el tamaño de las baterías, nos basamos en tamaños similares a las baterías Powerwall de TESLA, por lo que los tamaños analizados son 3kWh, 6kWh y 12kWh en litio. Para baterías de plomo hay que aumentar su capacidad ya que su profundidad de descarga es menor que las de litio. Los tamaños elegidos son 5kWh, 10kWh y 15kWh.

Batería	PLOMO			LITIO		
	Optz Solar	Enersol T	Powercycle	VL30P	VL45E	VL41M
Tamaño	5 kWh 10 kWh 15 kWh			3 kWh 6 kWh 12 kWh		

TABLA 5 BATERÍAS UTILIZADAS

Las características, así como las curvas de vida en ciclos de unas y otras están reflejadas en los anexos.

Una vez ya disponemos de los consumos y de las baterías, pasamos a describir los tipos de simulaciones que se van a realizar, que en nuestro caso son dos: el “filtrado de picos” y un método de optimización que combina el energy arbitrage con el “filtrado de picos”.

El método de descarga programada no se ha simulado porque la energía que sobra se vende a la red, método que en España no presenta rentabilidad alguna debido a la legislación actual.

El método de funcionamiento en aislada no lo podemos contemplar debido a que los datos de los que se dispone corresponden a edificios de viviendas, los cuales no es posible aislarlo de la red. Este método está orientado a pequeñas viviendas unifamiliares.

6.1.1 Filtrado de picos

En este caso se trata de reducir la potencia máxima que se consume de la red para poder reducir el término de potencia contratado. El valor fijado para que la batería se descargue es la mitad de la potencia que actualmente tiene contratada cada hogar.

Para ello, usamos como datos de entrada los consumos reales que tenemos y mediante MATLAB simulamos la carga y descarga de la batería durante todo el mes. De esta simulación obtenemos 3 datos importantes; el primero es la potencia máxima que se consume usando la batería que se compara con la inicial. Si la simulación es correcta se debería observar que este valor se reduce a la mitad.

El segundo dato importante es el ahorro en la compra de electricidad. Este ahorro se produce al cargar la batería en las horas donde el precio de la electricidad es más barato y, normalmente, los picos de consumo coinciden con los periodos donde la electricidad es más cara, por lo que se ahorra.

Y tercero, se obtiene la evolución del estado de carga de la batería, que nos sirve como dato de entrada para el cálculo de la vida en función de los ciclos que tendría esa batería.

6.1.2 Optimización

La segunda simulación es bastante más compleja, ya que se trata de un “energy arbitrage” y un “filtrado de picos” a la vez. El objetivo es optimizar la carga y descarga de la batería para que se cargue cuando más barata es la energía y se descargue cuando más cara sea. Además, se puede fijar la potencia máxima que se quiere consumir de la red, lo que nos permite bajar el término de potencia del hogar.

Para realizar esto, se utiliza un método de optimización conocido como programación lineal y que se basa en minimizar la función de coste de comprar la energía de la red, considerando que el coste de la energía almacenada en la batería es 0 y que no se vende energía a la red.

$$f = C_{Cred}P_{Cred} + C_{bat}P_{bat}$$

Sujeto a que el balance de potencias sea cero en todo momento

$$P_{red} + P_{bat} = P_{con}$$

Asegurando además que las baterías no se cargan por encima de su capacidad máxima ni se descargan por debajo de la mínima (P_{bat} es positiva cuando se descarga y negativa cuando se carga). T es el periodo entre pasos de la optimización.

$$\begin{aligned} E_{bat} - P_{bat}T &\leq E_{batMAX} \\ E_{bat} - P_{bat}T &\geq E_{batMIN} \end{aligned}$$

También se limita cada potencia entre un máximo y un mínimo. Donde la potencia obtenida de la red está limitada por un valor prefijado y la de la batería por su ficha técnica.

$$0 \leq P_{red} \leq P_{redMAX}$$

$$-P_{batMAX} \leq P_{bat} \leq P_{batMAX}$$

En nuestro caso, vamos a basar la optimización en función de los precios de la energía por hora para el mes de junio, que es cuando están tomados los datos de consumo, y para ello se obtienen los precios de REE para la tarifa de discriminación horaria, la cual presenta precios más bajos para las horas nocturnas y más elevados para las diurnas.

Este proceso de optimización se realiza para cada día, estableciendo que, al principio de cada día, la batería debe estar cargada al 45% para las de plomo y al 15% para las de litio

Además, se fija la potencia máxima a consumir de la red en 2.3 kW, para así poder disminuir el término de potencia.

6.2 Análisis de los resultados

6.2.1 Filtrado de picos

Los resultados obtenidos para el método de filtrado de picos de demanda son que este procedimiento no afecta a la vida por ciclado de las baterías, ya que solo se produce una carga y descarga por día, lo que da a un total de unos 30 ciclos al mes, 360 ciclos al año. Esto supone un valor bastante pequeño en comparación con los ciclos que puede resistir una batería.

Por ejemplo, aplicando el filtrado de picos a la vivienda 2, obtenemos este número de ciclos:

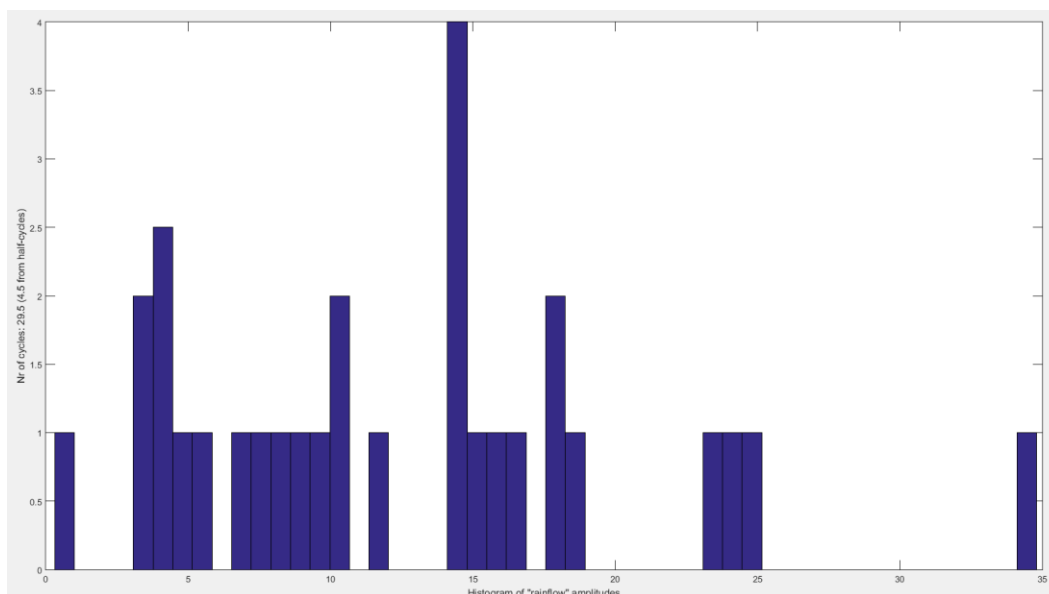


FIGURA 34 Nº DE CICLOS Y SU AMPLITUD

Lo que, para una batería de litio de 2 kWh de capacidad, nos da un resultado de que dura más de 100 años, resultado irreal, ya que la duración real de la batería será muy inferior debido a fenómenos como el calendar ageing.

Por lo tanto, se puede concluir que este método no nos sirve para analizar la vida de las baterías en función de su ciclado, ya que morirán antes por la propia edad que por el ciclado.

6.2.2 Optimización

Como se ha explicado anteriormente, para cada hogar se han simulado 6 casos distintos, para obtener la máxima información posible. De estos datos se extrae la variación del estado de carga de la batería a lo largo del mes y, por lo tanto, los ciclos de carga/descarga y si el proceso de optimización realmente funciona.

Se va a proceder a explicar los resultados obtenidos de la vivienda 1.

En los gráficos que se van a mostrar a continuación, están representados el consumo de la vivienda, la potencia que está dando o absorbiendo la batería, y la potencia absorbida de la red. La potencia negativa de la batería indica que esta se está cargando.

Estos gráficos han sido obtenidos para un periodo de simulación de los 2 primeros días del mes. Esto se debe a que si se muestra el gráfico de todo el mes no se puede apreciar correctamente el contenido de este.

Vivienda 1

Los siguientes resultados pertenecen a la simulación de la vivienda 1 para una batería de plomo de 5 kWh.

En los gráficos se muestra la evolución de los consumos de la red y de la batería a lo largo del periodo simulado, así como la variación del estado de carga de la batería y el número y amplitud de ciclos que ocurren.

En la figura 35, se observa como la batería suministra energía (potencia positiva) durante los periodos de tarde y noche (como se verá más adelante, corresponden con los periodos donde la energía es más cara) y se carga de madrugada.

De la red, se consume energía principalmente para cargar la batería y se hace en el período de madrugada, cuando es más barata.

El máximo de potencia que puede consumir de la red en este caso es de 2,3 kW, que es la mitad de lo que se tenía contratado.

La figura 36 muestra el estado de carga de la batería. En el inicio de cada día, la batería debe estar cargada al 45% de su capacidad (como se ha explicado anteriormente).

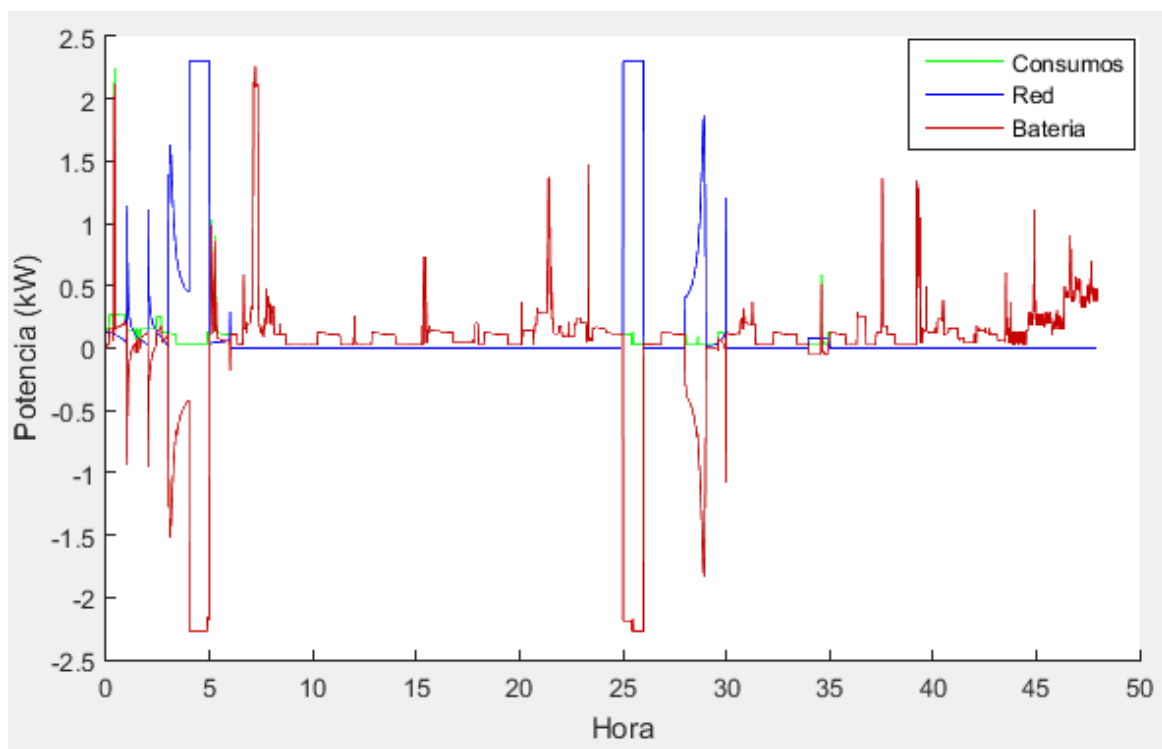


FIGURA 35 OPTIMIZACIÓN VIVIENDA 1 BATERÍA PLOMO 5 kWh

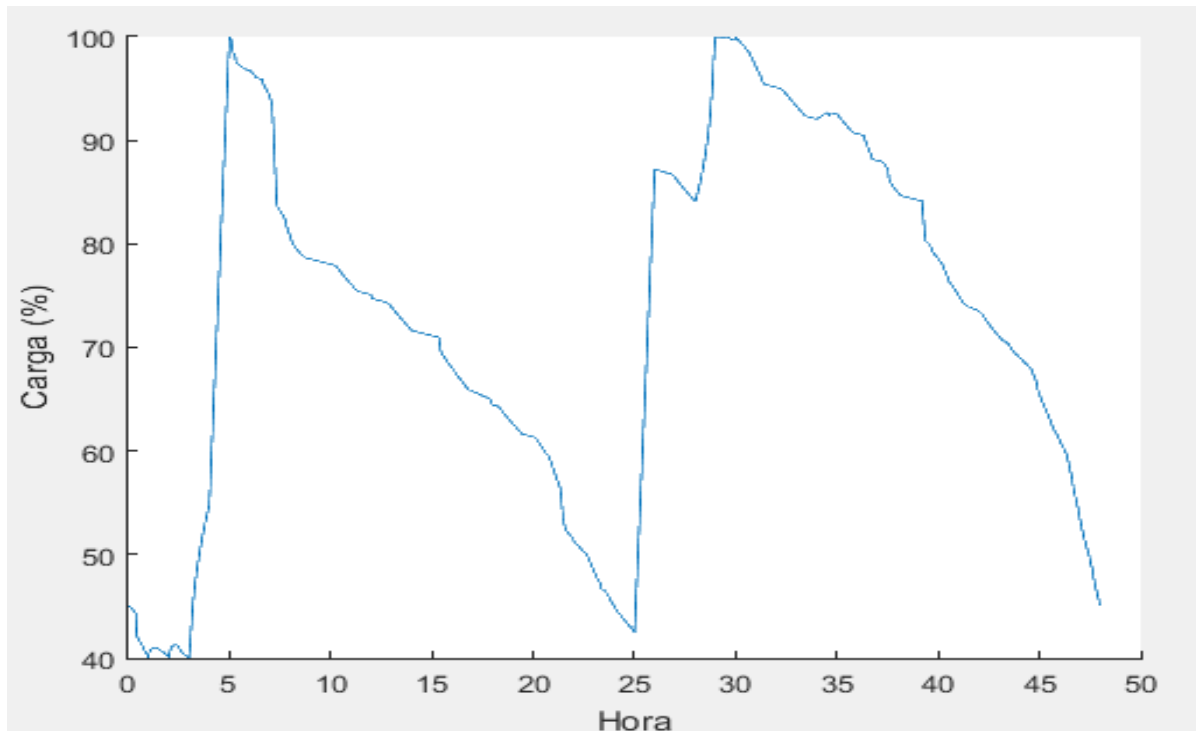


FIGURA 36 ESTADO DE CARGA DE LA BATERÍA

A partir del estado de carga de la batería, se extrae el número de ciclos y su amplitud. Para estos 2 días se muestran en el gráfico siguiente:

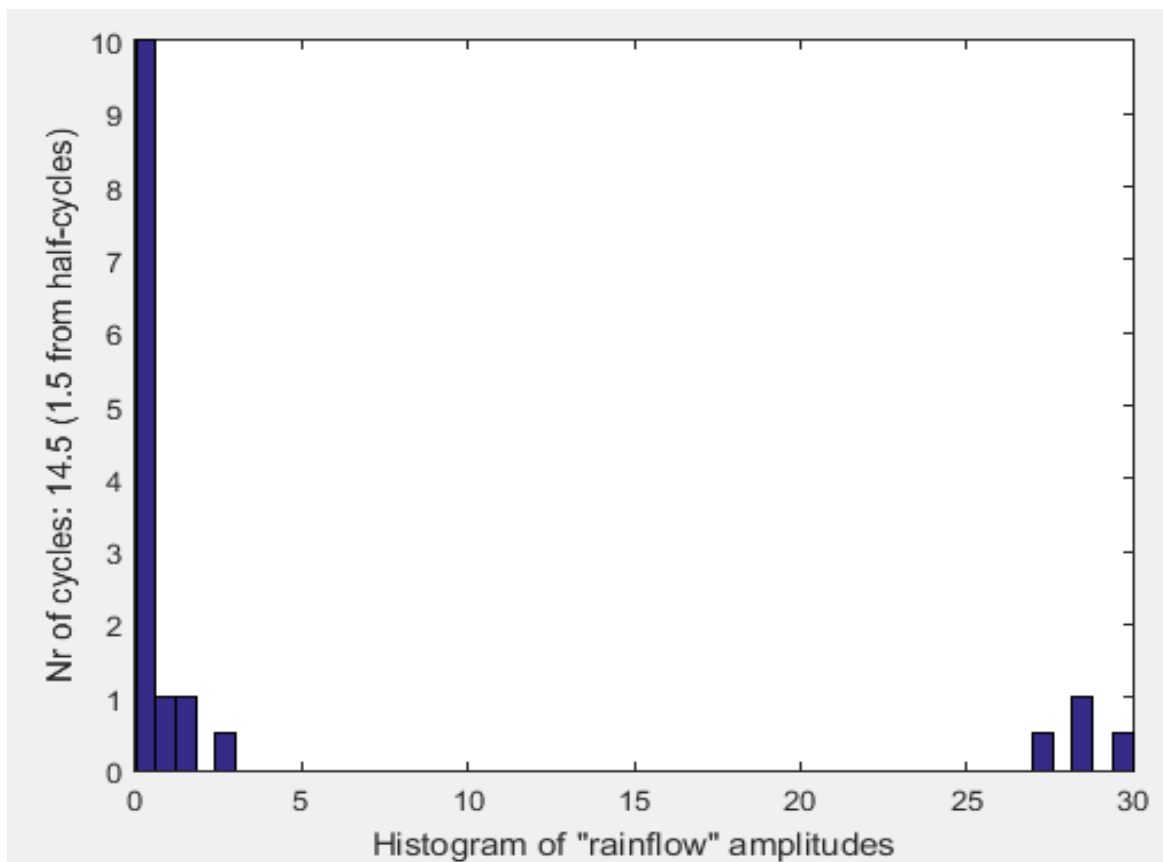


FIGURA 37 Nº DE CICLOS Y SU AMPLITUD

Por la propia programación del método del rainflow en el MATLAB, la amplitud que se muestra en la gráfica es la mitad de la real, por lo que la amplitud de 30, sería realmente de 60, que es el máximo que se puede descargar la batería de plomo en nuestra simulación y la de 45 se corresponde al 90, que es la máxima de las baterías de litio.

Finalmente, se muestra el gráfico que representa los ciclos y su amplitud para los 30 días.

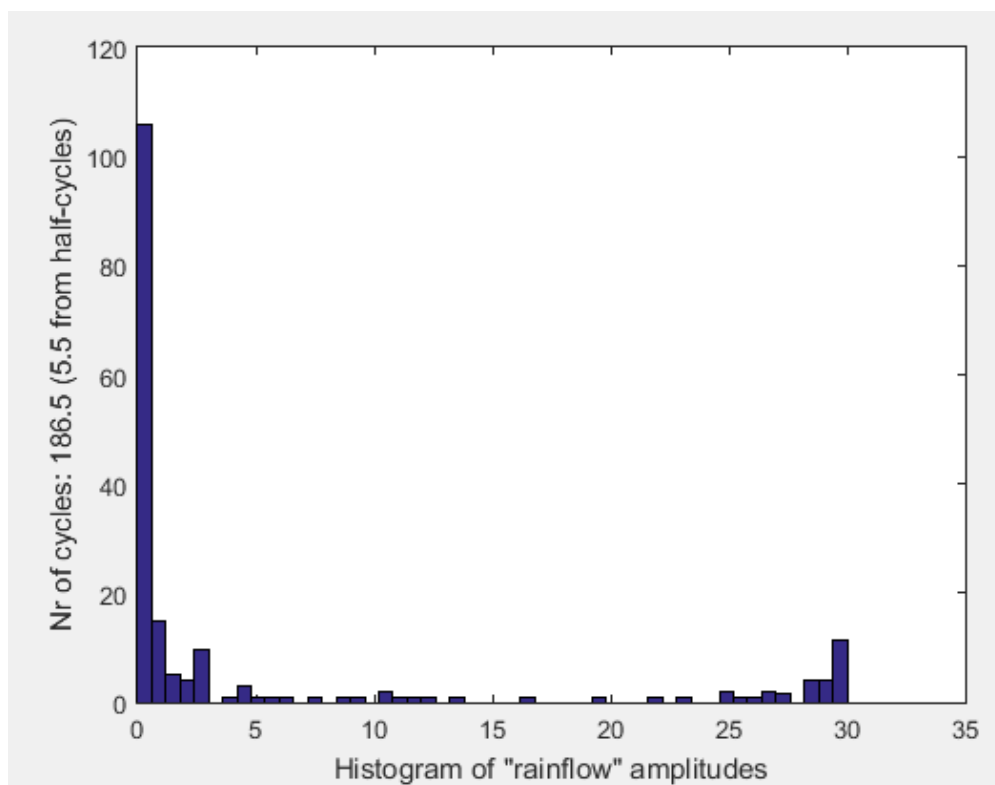


FIGURA 38 N° CICLOS Y AMPLITUD 30 DIAS

Una vez que ya sabemos los ciclos y su amplitud, aplicamos la regla de Palmgren-Miner para calcular la vida que ha perdido la batería a causa de este ciclado. Y finalmente obtenemos para las distintas baterías, la estimación en años de vida útil que podría llegar a tener cada una de ellas en estas condiciones de operación.

Batería	Capacidad (kWh)		
	5/3	10/6	15/12
	Vida (años)		
Optz Solar	6,4	11,8	17,5
Enersol T	4,6	8,5	12,5
Powercycle	3,7	6,7	9,9
VL30P	21,16	50,87	120
VL45E	10,85	29,16	95
VL41M	11	25,9	86

TABLA 6 VIDA DE LAS BATERÍAS EN LA VIVIENDA 1

Al ser un perfil de consumo bajo, las baterías presentan vidas elevadas, ya que con una capacidad pequeña se puede cubrir la demanda requerida, por lo que la vida de estas será elevada.

Los resultados marcados en rojo no son datos realistas, ya que, aunque la batería “teóricamente” pueda durar esa cantidad de años, en la realidad la batería dejara de ser útil mucho antes, debido al envejecimiento natural por edad descrito anteriormente, “calendar ageing”. Los fabricantes de baterías para el hogar “garantizan” la durabilidad de la batería hasta 10 años (TESLA, SONNEN), por lo que vamos a establecer que puedan durar hasta los 15 años aproximadamente. Por lo tanto, esos resultados no se tendrán en cuenta a la hora de analizar su viabilidad económica.

Para el resto de viviendas solo se va a mostrar el resultado final, siendo el proceso para obtener los resultados el mismo que el descrito en este apartado.

Vivienda 2

Batería	Capacidad (kWh)		
	5/3	10/6	15/12
	Vida (años)		
Optz Solar	3,23	5,5	7,8
Enersol T	2,3	4	5,6
Powercycle	1,84	3,17	4,5
VL30P	12,3	20	40
VL45E	6,4	10,2	22,2
VL41M	6,41	10,5	20,2

TABLA 7 VIDA DE LAS BATERÍAS EN LA VIVIENDA 2

Esta vivienda presenta un consumo más elevado, por lo que se requerirá de una mayor capacidad y de un número de ciclos mayor para poder cubrir la demanda. Esto provoca que disminuya la vida de las baterías.

Vivienda 3

Batería	Capacidad (kWh)		
	5/3	10/6	15/12
	Vida (años)		
Optz Solar	3,11	5,46	8,2
Enersol T	2,23	3,9	5,9
Powercycle	1,77	3,11	4,7
VL30P	13,6	20,5	40
VL45E	7,1	10,3	28,6
VL41M	7	10,7	23,2

TABLA 8 VIDA DE LAS BATERÍAS EN LA VIVIENDA 3

Consumo menor, pero con más variabilidad lo que provoca en capacidades bajas un aumento del número de ciclos y una disminución de la vida. En cambio, para capacidades elevadas, estas pueden cubrir la variabilidad sin tener que cargarse tantas veces y al tener un consumo total menor, presentan una vida más larga.

Vivienda 4

Batería	Capacidad (kWh)		
	5/3	10/6	15/12
	Vida (años)		
Optz Solar	2,4	4,3	6
Enersol T	1,82	3,1	4,3
Powercycle	1,45	2,5	3,4
VL30P	9,2	16,93	27,17
VL45E	4,8	10,3	14,3
VL41M	4,83	10,7	13,9

TABLA 9 VIDA DE LAS BATERÍAS EN LA VIVIENDA 4

Esta vivienda presenta el consumo más elevado, por lo que habrá un mayor número de descargas de profundidad elevada, lo que se traduce en una vida menor.

7.VIABILIDAD ECONÓMICA

Una parte importante de este proyecto, aparte de calcular la vida de las baterías, es ver si la instalación de estas es viable. Para ello, nos centramos en 2 formas de ahorro.

La primera es disminuir el término de potencia contratada, ya que la batería cubre los picos altos de demanda y la otra es en cargar la batería en horas donde la energía es más barata y descargarla cuando es más cara.

Para poder realizar esto, se han tenido en cuenta varias cosas:

- ❖ La tarifa de acceso contratada es la 2.0A
- ❖ El precio del kW de potencia contratada al año es de 42,04 €/kW, obtenido de la página web de Iberdrola.

POTENCIA CONTRATADA MENOR O IGUAL A 10 kW CON DISCRIMINACIÓN HORARIA

PERIODO	PUNTA	VALLE
T. DE POTENCIA (€/kW AÑO)	42,043426	42,043426

FIGURA 39 PRECIO TÉRMINO DE POTENCIA. FUENTE IBERDROLA

- ❖ El precio de la energía se ha obtenido durante cada hora para todo el mes de junio (Web REE).
- ❖ La tarifa que tienen contratada los hogares analizados es la normal. Para la realización de la simulación, la tarifa usada es, en cambio, la de discriminación horaria para así maximizar el ahorro.

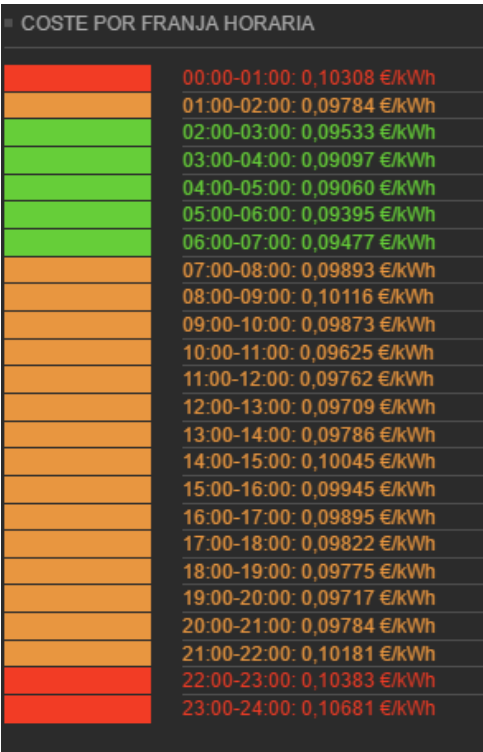


FIGURA 40 PRECIO ELECTRICIDAD 1 DE JUNIO TARIFA NORMAL. FUENTE REE



FIGURA 41 PRECIO ELECTRICIDAD 1 DE JUNIO TARIFA DISCRIMINACIÓN HORARIA. FUENTE REE

Para realizar el análisis económico se tendrán en cuenta los siguientes elementos:

- **Coste consumo:** Es lo que le ha costado al consumidor la electricidad consumida durante todo el mes de junio aplicando los precios de la tarifa normal.
- **Coste término de potencia:** Es el precio que cuesta al mes tener el nº de kW contratados.
- **Impuesto eléctrico:** Impuesto especial de fabricación que grava sobre los dos conceptos anteriores. El porcentaje dedicado a este impuesto es de 5,113%.
- **Alquiler de contador:** Importe mensual que se paga en caso de no disponer de un contador en propiedad. El precio es de 2€ al mes.
- **IVA:** impuesto sobre el valor añadido, éste se aplica sobre la suma de todos los conceptos que conforman la factura eléctrica. Es del 21%.

Por lo tanto, ya podemos analizar la viabilidad económica de instalar las distintas baterías en los hogares.

Los precios escogidos para las baterías no corresponden con el precio de venta al consumidor, sino que son los precios con los que trabajan los instaladores de sistemas de almacenamiento.

El plomo tiene un precio de venta al público, que está sobre los 250 € el kWh. Mientras que el precio de venta al instalador es 110€ el kWh.

Para las baterías de litio, el precio de venta al instalador está sobre los 450€ el kWh y el precio que ofrece la empresa TESLA para su batería con todo el kit necesario para su funcionamiento es de 700€ el kWh.

Con estos precios vamos a comprobar si es viable instalar estas baterías con este modo de funcionamiento.

Vivienda 1

PLOMO				
	Sin batería	Batería 5 kWh	Batería 10 kWh	Batería 15 kWh
Coste energía	12,78 €	6,09 €	5,97 €	5,97 €
Coste potencia	16,12 €	8,06 €	8,06 €	8,06 €
Potencia contratada(kW)	4,6	2,3	2,3	2,3
Total	28,90 €	14,10 €	14,03 €	14,03 €
Impuesto eléctrico	1,48 €	0,72 €	0,72 €	0,72 €
Alquiler de contador	2,00 €	2,00 €	2,00 €	2,00 €
Con IVA (21%)	39,17 €	20,35 €	20,26 €	20,26 €
Ahorro mensual	-	18,82 €	18,91 €	18,91 €

TABLA 10 DATOS ECONÓMICOS PLOMO VIVIENDA 1

En la tabla 10 se muestra el ahorro mensual que se obtendría con cada batería de plomo aplicando el método de optimización.

A continuación, se presentan los cálculos para analizar la viabilidad económica de la instalación.

PLOMO				
Tamaño		5kWh	10kWh	15kWh
Precio		550 €	1110 €	1650 €
Periodo retorno (años)		2,43	4,89	7,27
Años de vida	OPTZ solar	6,4	11,8	17,5
	Enersol T	4,6	8,5	12,5
	Powercycle	3,7	6,7	9,9
Ahorro neto	OPTZ solar	895,42 €	1.567,61 €	-
	Enersol T	488,90 €	818,78 €	1.186,45 €
	Powercycle	285,6 €	410,34 €	596,47 €

TABLA 11 VIABILIDAD ECONÓMICA PLOMO VIVIENDA 1

Los resultados presentados en la tabla 11 muestran el ahorro total que se obtendría para cada batería a lo largo de su vida útil, ya descontado el precio de compra de la batería.

Como ya se ha comentado anteriormente, los datos en rojo no se tienen en cuenta debido a que son resultados no válidos.

A continuación, se muestran los mismos datos, pero para las baterías de litio.

Litio				
	Sin batería	Batería 3 kWh	Batería 6 kWh	Batería 12 kWh
Coste energía	12,78 €	6,09 €	5,97 €	5,96 €
Coste potencia	16,12 €	8,06 €	8,06 €	8,06 €
Potencia contratada(kW)	4,6	2,3	2,3	2,3
Total	28,90 €	14,15 €	14,03 €	14,02 €
Impuesto eléctrico	1,48 €	0,72 €	0,72 €	0,72 €
Alquiler de contador	2,00 €	2,00 €	2,00 €	2,00 €
Con IVA (21%)	39,17 €	20,41 €	20,26 €	20,25 €
Ahorro mensual	-	18,76 €	18,91 €	18,92 €

TABLA 12 DATOS ECONÓMICOS LITIO VIVIENDA 1

LITIO				
Tamaño		3kWh	6kWh	12kWh
Precio		1350 €	2700 €	5400 €
Periodo retorno (años)		6	-	-
Años de vida	VL30P	21,16	50,87	120
	VL45E	10,85	29,16	95
	VL41MP	11	25,9	86
Ahorro neto	VL30P	-	-	-
	VL45E	1.092,16 €	-	-
	VL41MP	1.125,93 €	-	-

TABLA 13 VIABILIDAD ECONÓMICA LITIO VIVIENDA 1

Para elegir que batería se adapta mejor a este hogar, vamos a calcular el ahorro neto dividido por los años de vida para ver cuál es mayor. El resultado es:

Batería	Capacidad (kWh)		
	5/3	10/6	15/12
	Ahorro neto/años vida		
Optz Solar	139,91 €	132,85 €	-
Enersol T	106,28 €	96,33 €	94,92 €
Powercycle	77,20 €	61,24 €	60,25 €
VL30P	-	-	-
VL45E	100,66 €	-	-
VL41M	102,36 €	-	-

TABLA 14 AHORRO ANUAL

Los datos de la tabla 14 nos ofrecen el ahorro anual que obtendríamos con cada batería. Este es el ahorro real, ya que está incluido el coste de cambio de la batería, con lo que es el principal indicador del tipo de batería que mejor se adapta a esta vivienda,

La que más ahorro por año de vida ofrece es la batería de plomo Optz Solar de 5 kWh de capacidad. El litio para consumos reducidos no es rentable, ya que su principal atractivo es su mayor vida de ciclos. Si el consumo es pequeño, el número de ciclos también lo será, por lo que en este caso es mejor la instalación de una batería de plomo.

En la práctica, se tiene que tener en cuenta además del envejecimiento por ciclado, el envejecimiento natural, por lo que cuantos más años esté en funcionamiento la batería, mayor capacidad irá perdiendo. Recordemos que esta pérdida de capacidad es lineal, por lo que es conveniente escoger una batería más pequeña, que a la vez tiene una vida más corta, para que la pérdida de capacidad antes mencionada, influya lo mínimo posible en nuestra batería.

Vivienda 2

PLOMO				
	Sin batería	Batería 5 kWh	Batería 10 kWh	Batería 15 kWh
Coste energía	30,77 €	20,30 €	16,12 €	15,00 €
Coste potencia	20,14 €	8,06 €	8,06 €	8,06 €
Potencia contratada(kW)	5,75	2,3	2,3	2,3
Total	50,91 €	28,36 €	24,18 €	23,06 €
Impuesto eléctrico	2,60 €	1,45 €	1,24 €	1,18 €
Alquiler de contador	2,00 €	2,00 €	2,00 €	2,00 €
Con IVA (21%)	67,18 €	38,49 €	33,17 €	31,75 €
Ahorro mensual	-	28,69 €	34,01 €	35,43 €

TABLA 15 DATOS ECONÓMICOS VIVIENDA 2

PLOMO				
Tamaño		5kWh	10kWh	15kWh
Precio		550 €	1110 €	1650 €
Periodo retorno (años)		1,59	2,72	3,88
Años de vida	OPTZ solar	3,23	5,5	7,8
	Enersol T	2,3	4	5,6
	Powercycle	1,84	3,17	4,5
Ahorro neto	OPTZ solar	561,98 €	1.134,34 €	1.666,22 €
	Enersol T	241,81 €	522,25 €	730,87 €
	Powercycle	83,45 €	183,56 €	263,2 €

TABLA 16 VIABILIDAD ECONÓMICA PLOMO VIVIENDA 9

LITIO				
	Sin batería	Batería 3 kWh	Batería 6 kWh	Batería 12 kWh
Coste energía	30,77 €	20,88 €	16,68 €	14,95 €
Coste potencia	20,14 €	8,06 €	8,06 €	8,06 €
Potencia contratada(kW)	5,75	2,3	2,3	2,3
Total	50,91 €	28,94 €	24,74 €	23,01 €
Impuesto eléctrico	2,60 €	1,48 €	1,26 €	1,18 €
Alquiler de contador	2,00 €	2,00 €	2,00 €	2,00 €
Con IVA (21%)	67,18 €	39,22 €	33,88 €	31,68 €
Ahorro mensual	-	27,95 €	33,30 €	35,49 €

TABLA 17 DATOS ECONÓMICOS VIVIENDA 2

LITIO				
Tamaño		3kWh	6kWh	12kWh
Precio		1350 €	2700 €	5400 €
Periodo retorno (años)		4,02	6,75	-
Años de vida	VL30P	12,3	20	40
	VL45E	6,4	10,2	22,2
	VL41MP	6,41	10,5	20,2
Ahorro neto	VL30P	2.775,58 €	-	-
	VL45E	796,65 €	1.375,52 €	-
	VL41MP	800 €	1.495,39 €	-

TABLA 18 VIABILIDAD ECONÓMICA LITIO VIVIENDA 2

Para elegir que batería se adapta mejor a este hogar, vamos a calcular el ahorro neto dividido por los años de vida para ver cuál es mayor. El resultado es:

Batería	Capacidad (kWh)		
	5/3	10/6	15/12
	Ahorro neto/años vida		
Optz Solar	173,99 €	206,24 €	213,24 €
Enersol T	105,13 €	130,56 €	130,51€
Powercycle	45,35 €	57,91 €	58,49 €
VL30P	225,66 €	-	-
VL45E	124,48 €	134,85 €	-
VL41M	125 €	142 €	58,49 €

TABLA 19 AHORRO ANUAL

Esta vivienda presenta un consumo más elevado que la anterior, con lo que la vida de las baterías de plomo es menor. Esto lleva a que las baterías con la que más ahorro se obtiene son las de 10 kWh para el plomo, debido a que existe un mayor número de ciclos, que reducen la vida de las baterías.

Por otro lado, las baterías de litio presentan mejor resultados que anteriormente debido a un consumo más elevado, con lo que la mayor vida de las baterías de litio las coloca con mejores resultados.

La batería que mejor resultado arroja es la VL30P de litio de 3kWh, aunque la Optz Solar de 10 kWh y de 15 kWh es una buena alternativa. Si se tiene que elegir entre 2 baterías con resultados similares, pero con tamaños distintos, se debe elegir la de menor tamaño (por el calendar ageing, comentado anteriormente).

Vivienda 3

PLOMO				
	Sin batería	Batería 5 kWh	Batería 10 kWh	Batería 15 kWh
Coste energía	27,76 €	17,14 €	13,79 €	13,34 €
Coste potencia	20,14 €	8,06 €	8,06 €	8,06 €
Potencia contratada(kW)	5,75	2,3	2,3	2,3
Total	47,90 €	25,20 €	21,85 €	21,40 €
Impuesto eléctrico	2,45 €	1,29 €	1,12 €	1,09 €
Alquiler de contador	2,00 €	2,00 €	2,00 €	2,00 €
Con IVA (21%)	63,35 €	34,47 €	30,21 €	29,63 €
Ahorro mensual	-	28,88 €	33,14 €	33,71 €

TABLA 20 DATOS ECONÓMICOS

PLOMO				
Tamaño		5kWh	10kWh	15kWh
Precio		550 €	1110 €	1650 €
Periodo retorno (años)		1,58	2,79	4,07
Años de vida	OPTZ solar	3,11	5,46	8,2
	Enersol T	2,23	3,9	5,9
	Powercycle	1,77	3,11	4,7
Ahorro neto	OPTZ solar	527,79€	1.061,35€	1.667,33€
	Enersol T	222,82€	440,97 €	736,86 €
	Powercycle	63,40 €	126,80 €	251,39 €

TABLA 21 VIABILIDAD ECONÓMICA PLOMO VIVIENDA 3

La particularidad de esta vivienda es que, aunque tiene un consumo total menor que la anterior, este varía mucho más a lo largo del día, por lo que el número de ciclos es mayor, y la vida de las baterías menor.

Litio				
	Sin batería	Batería 3 kWh	Batería 6 kWh	Batería 12 kWh
Coste energía	27,76 €	17,73 €	14,08 €	13,33 €
Coste potencia	20,14 €	8,06 €	8,06 €	8,06 €
Potencia contratada(kW)	5,75	2,3	2,3	2,3
Total	47,90 €	25,79 €	22,14 €	21,39 €
Impuesto eléctrico	2,45 €	1,32 €	1,13 €	1,09 €
Alquiler de contador	2,00 €	2,00 €	2,00 €	2,00 €
Con IVA (21%)	63,35 €	35,22 €	30,58 €	29,62 €
Ahorro mensual	-	28,13 €	32,77 €	33,73 €

TABLA 22 DATOS ECONÓMICOS

LITIO				
Tamaño		3kWh	6kWh	12kWh
Precio		1350 €	2700 €	5400 €
Periodo retorno (años)		4	6,86	-
Años de vida	VL30P	13,6	20,5	40
	VL45E	7,1	10,3	28,6
	VL41MP	7	10,7	23,2
Ahorro neto	VL30P	3.240,68 €	-	-
	VL45E	1.046,61 €	1.350,55 €	-
	VL41MP	1.012,85 €	1.507,86 €	-

TABLA 23 VIABILIDAD ECONÓMICA LITIO VIVIENDA 3

Para elegir que batería se adapta mejor a este hogar, vamos a calcular el ahorro neto dividido por los años de vida para ver cuál es mayor. El resultado es:

Batería	Capacidad (kWh)		
	5/3	10/6	15/12
	Ahorro neto/años vida		
Optz Solar	169,71 €	194,39 €	203,33 €
Enersol T	99,92 €	113,07 €	124,89€
Powercycle	35,82 €	40,77 €	53,49 €
VL30P	238,29 €	-	-
VL45E	147,41 €	131,12 €	-
VL41M	145 €	141 €	-

TABLA 24 AHORRO ANUAL

MEMORIA

Para esta vivienda, los resultados son similares a la anterior, pero mejorando el ahorro de las baterías de litio, debido al mayor número de ciclos que se dan en este caso.

En el litio, la VL30P sigue siendo la mejor opción, ya que presenta una vida mayor que las otras.

También es de especial interés que la batería OPTZ Solar, aunque no nos proporciona un ahorro por año tan elevado como la de litio, presenta muy buenos resultados, que la hacen viable para este tipo de proyectos.

Vivienda 4

PLOMO				
	Sin batería	Batería 5 kWh	Batería 10 kWh	Batería 15 kWh
Coste energía	43,55 €	30,49 €	24,81 €	21,85 €
Coste potencia	20,14 €	8,06 €	8,06 €	8,06 €
Potencia contratada(kW)	5,75	2,3	2,3	2,3
Total	63,69 €	38,55 €	32,87 €	29,91 €
Impuesto eléctrico	3,26 €	1,97 €	1,68 €	1,53 €
Alquiler de contador	2,00 €	2,00 €	2,00 €	2,00 €
Con IVA (21%)	83,43 €	51,45 €	44,22 €	40,46 €
Ahorro mensual	-	31,98 €	39,21 €	42,97 €

TABLA 25 DATOS ECONÓMICOS

PLOMO				
Tamaño		5kWh	10kWh	15kWh
Precio		550 €	1110 €	1650 €
Periodo retorno (años)		1,43	2,79	3,2
Años de vida	OPTZ solar	2,4	4,3	6
	Enersol T	1,82	3,1	4,3
	Powercycle	1,45	2,5	3,4
Ahorro neto	OPTZ solar	371,11 €	913,09 €	1.443,97 €
	Enersol T	148,51 €	348,50 €	567,35 €
	Powercycle	6,5 €	66,21 €	103,25 €

TABLA 26 VIABILIDAD ECONÓMICA PLOMO VIVIENDA 4

Litio				
	Sin batería	Batería 3 kWh	Batería 6 kWh	Batería 12 kWh
Coste energía	43,55 €	31,12 €	25,81 €	21,37 €
Coste potencia	20,14 €	8,06 €	8,06 €	8,06 €
Potencia contratada(kW)	5,75	2,3	2,3	2,3
Total	63,69 €	39,18 €	33,87 €	29,43 €
Impuesto eléctrico	3,26 €	2,00 €	1,73 €	1,50 €
Alquiler de contador	2,00 €	2,00 €	2,00 €	2,00 €
Con IVA (21%)	83,43 €	52,25 €	45,50 €	39,85 €
Ahorro mensual	-	31,18 €	37,94 €	38,46 €

TABLA 27 DATOS ECONÓMICOS

LITIO				
Tamaño		3kWh	6kWh	12kWh
Precio		1350 €	2700 €	5400 €
Periodo retorno (años)		3,6	5,93	10,35
Años de vida	VL30P	9,2	16,93	27,17
	VL45E	4,8	10,3	14,3
	VL41MP	4,83	10,7	13,9
Ahorro neto	VL30P	2.092,45 €	-	-
	VL45E	446,06 €	1.242,23 €	2.078,73 €
	VL41MP	457,29 €	1.351,48 €	1.869,53 €

TABLA 28 VIABILIDAD ECONÓMICA LITIO VIVIENDA 4

Esta es la vivienda que presenta el consumo más elevado, por lo que la vida de las baterías es bastante reducida. Sin embargo, se obtienen ahorros más elevados, lo que compensa esta reducción de vida para hacer atractiva la instalación de una batería.

Para elegir qué batería se adapta mejor a este hogar, vamos a calcular el ahorro neto dividido por los años de vida para ver cuál es mayor. El resultado es:

Batería	Capacidad (kWh)		
	5/3	10/6	15/12
	Ahorro neto/años vida		
Optz Solar	154,63 €	212,35 €	240,66 €
Enersol T	81,6 €	112,42 €	131,94 €
Powercycle	4,48 €	26,48 €	30,37 €
VL30P	227,44 €	-	-
VL45E	92,93 €	120,6 €	-
VL41M	95 €	126 €	-

TABLA 29 AHORRO ANUAL

MEMORIA

Finalmente, para una vivienda con un consumo mayor que las anteriores, las baterías de plomo siguen ofreciendo resultados positivos, incluso mejores que las baterías de litio. Esto es debido a que, como se ha comentado anteriormente, la ventaja de las baterías de litio es el mayor número de ciclos que soportan, es decir, la variabilidad del consumo.

8.CONCLUSIONES

La viabilidad económica del uso de baterías para aplicaciones de almacenamiento de energía en los hogares depende enormemente del precio y de la duración de la batería.

Como se ha podido constatar a lo largo del proyecto, las baterías de plomo presentan resultados positivos para todos los casos analizados. Aun siendo una química desarrollada hace más de un siglo, sigue siendo una muy buena opción para estas aplicaciones debido, fundamentalmente, a su reducido coste.

Por otra parte, las baterías de litio, pese a no ofrecer resultados tan positivos, se están convirtiendo en el referente del almacenamiento energético debido, principalmente, a la progresiva reducción de su precio y su larga vida.

Cada tipo de batería presenta mejores o peores resultados dependiendo del perfil de consumo del hogar, por lo que no se puede afirmar a nivel general que una química es mejor que otra.

El modelo de optimización ha sido usado para el caso de viviendas sin energías renovables, pero está programado para poder añadirle variables de producción solar y eólica, con lo que se puede usar para viviendas con este tipo de generación, lo que mejoraría los resultados.

Este proyecto no pretende obtener resultados precisos en cuanto al coste real de instalación de las baterías, ya que habría que tener en cuenta elementos como sistemas de protección, inversor, cableado, etc. Sin embargo, sí trata de despejar las dudas sobre cuánto tiempo puede durar una batería en una instalación doméstica.

Los datos aquí obtenidos pueden servir como datos de partida para futuros proyectos en los que se quiera estudiar la instalación de todo el sistema en un hogar.

9.BIBLIOGRAFIA

La bibliografía consultada durante la realización de este trabajo es la siguiente:

- Páginas Web:

[1] Página web de Red Eléctrica de España: <http://www.ree.es>

Último acceso: Noviembre de 2016

[2] Página web de la Comisión Nacional de la Energía <http://www.cne.es>

Último acceso: Octubre de 2016

[3] Página web del Ministerio de Industria, Energía y Turismo: <http://www.minetur.gob.es> Último acceso: Septiembre de 2016

[4] Página web del Boletín Oficial del Estado <http://www.boe.es>

Último acceso: Septiembre de 2016

[5] Página web de Iberdrola S.A. <http://www.iberdrola.es>

Último acceso: Noviembre de 2016

[6] Página web de Endesa S.A.: <http://www.endesaonline.com>

Último acceso: Noviembre de 2016

[7] Página web del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE): <http://www.idae.es/>

Último acceso: Septiembre de 2016

[8] Página web: <http://batteryuniversity.com/>

Último acceso: Noviembre de 2016

[9] Página web de iberisa: <http://www.iberisa.com/soporte/fatiga/intro.html>

Último acceso: Octubre 2016

[10] Página web de Tesla: https://www.tesla.com/it_IT/powerwall?redirect=no

Último acceso: Noviembre 2016

- Documentos:

[11] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), “PROYECTO SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España.” Año 2011
http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf

[12] Red Eléctrica de España, “Proyecto INDEL. Atlas de la Demanda Eléctrica Española”. Año 1998
http://www.ree.es/sistema_electrico/pdf/indel/Atlas_INDEL_REE.pdf

Último acceso: Noviembre de 2016

[13] Tesis RATE HANDLING METHODS IN VARIABLE AMPLITUDE FATIGUE CYCLE PROCESSING. Ryan O’kelley 2010

[14] M.Abdou Tankari, K. Bellache, M. Bailo Camara y B.Dakyo SUPERCAPACITOR LIFETIME ESTIMATION BASED ON RAINFLOW CYCLE COUNTING METHOD. 2015

[15] Erik Schaltz, Alireza Khaligh y Peter Omand INFLUENCE OF BATTERY/ULTRACAPACITOR ENERGY-STORAGE SIZING ON BATTERY LIFETIME IN A FUEL CELL HYBRID ELECTRIC VEHICLE. Octubre 2009

[16] Jorge Mírez Tarrillo SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA. Noviembre 2012

[17] Lluc Canals Casals MODELO DE ENVEJECIMIENTO DE BATERÍAS DE VEHÍCULO ELÉCTRICO REUTILIZADAS PARA APLICACIONES ESTACIONARIAS. Julio 2015

[18] Ausnet “Demand Management Case Study Residential Battery Storage Trial”, Año 2016
[http://www.ausnetservices.com.au/CA257D1D007678E1/Lookup/ManagingUsage/\\$file/Case%20study%20Residential%20Storage%20Trial.pdf](http://www.ausnetservices.com.au/CA257D1D007678E1/Lookup/ManagingUsage/$file/Case%20study%20Residential%20Storage%20Trial.pdf)

[19] Trabajo final de master FATIGA DE CIMENTACIONES BAJO CARGAS CÍCLICAS: APLICACIÓN AL CASO DE LA EÓLICA MARINA. Jordi Serret i Magaz. Diciembre 2012

[20] E. Sarasketa-Zabala, E. Martinez-Laserna, M. Berceibar, I. Gandiaga, L.M. Rodriguez-Martinez, I. Villarreal REALISTIC LIFETIME PREDICTION APPROACH FOR LI-ION BATTERIES. Marzo 2015

[21] Proyecto fin de carrera industrial REGULACIÓN DE FRECUENCIA CON BATERÍA CONSIDERANDO ENVEJECIMIENTO. Alba Gil Mengíbar Sevilla 2016

10. ANEXOS

10.1 Curvas de ciclos de las baterías

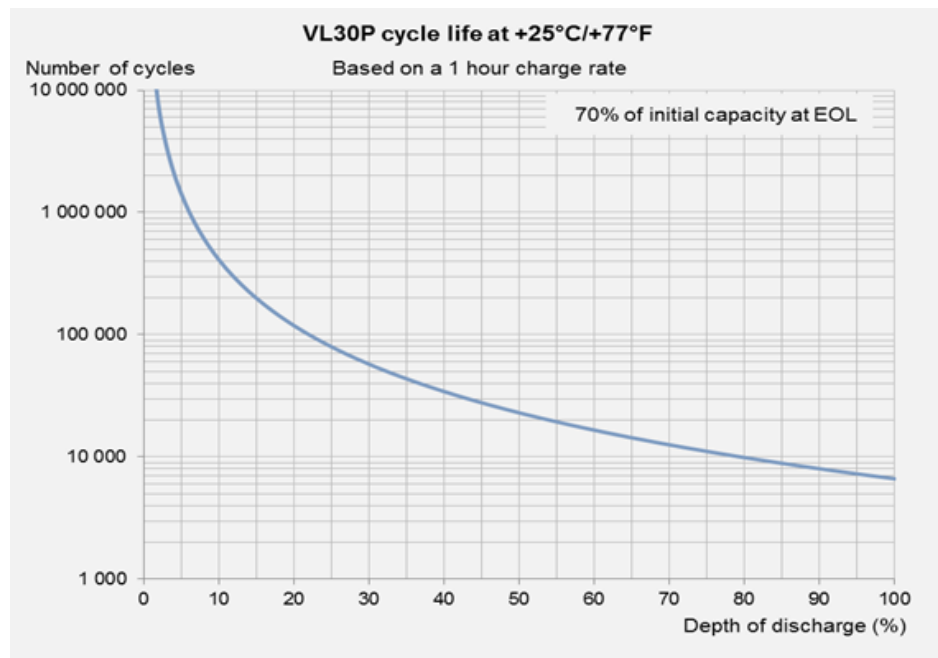


FIGURA 42 CURVA CELDA VL30P

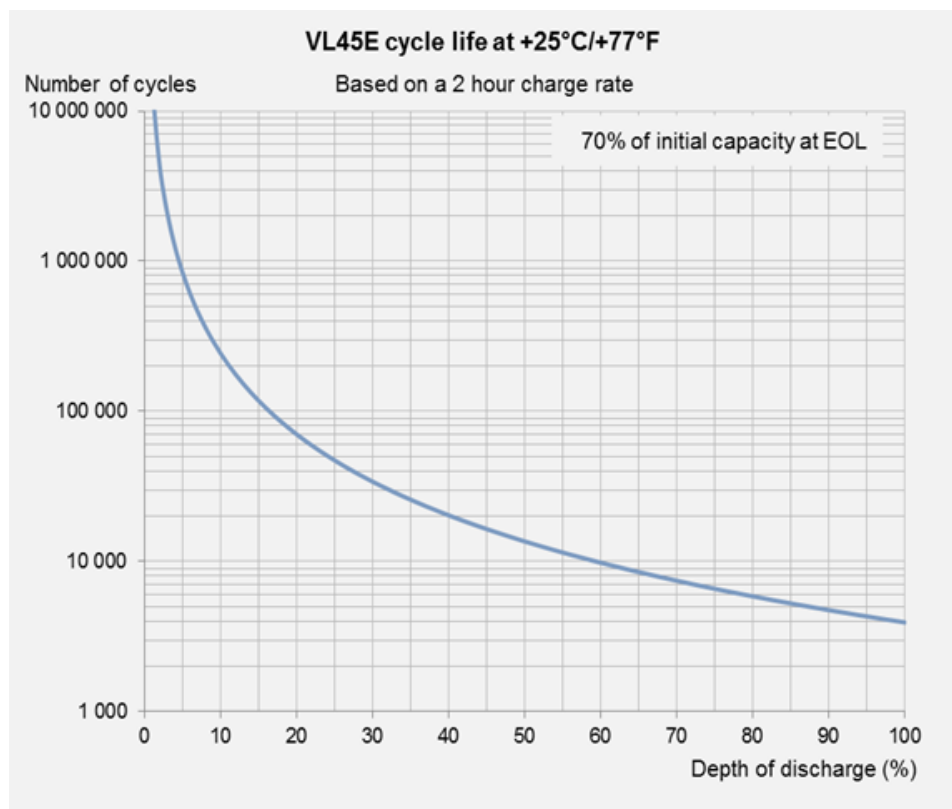


FIGURA 43 CURVA CELDA VL45E

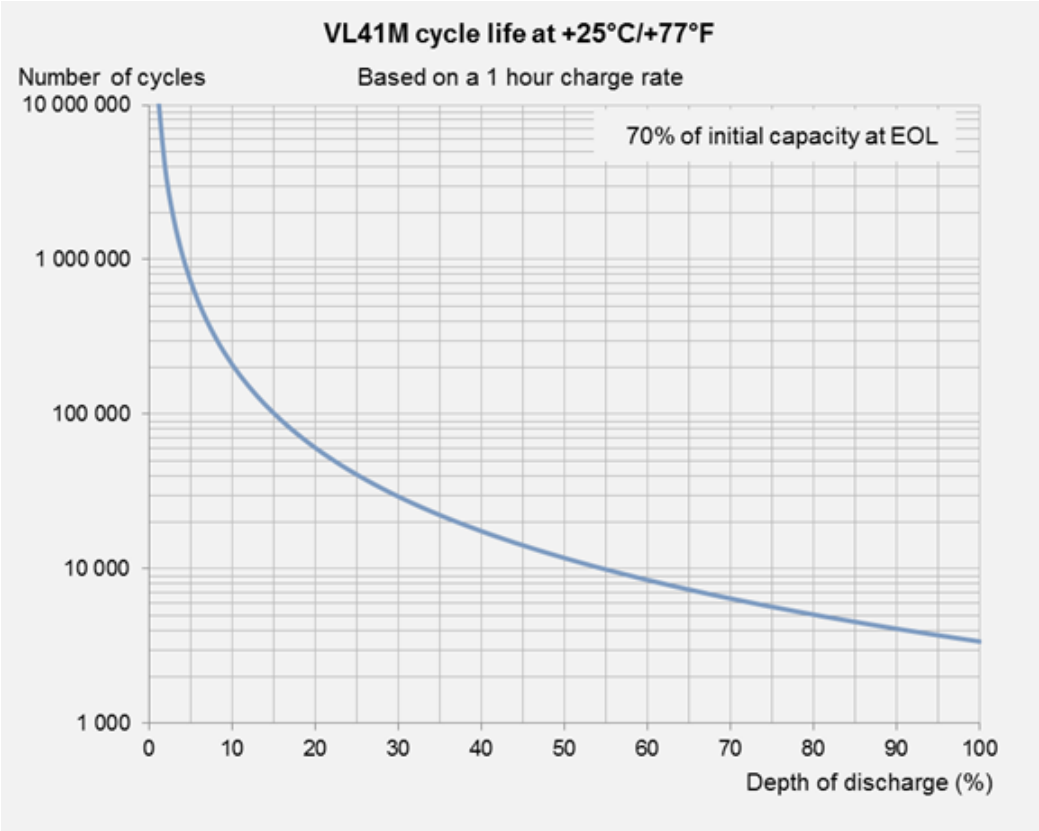
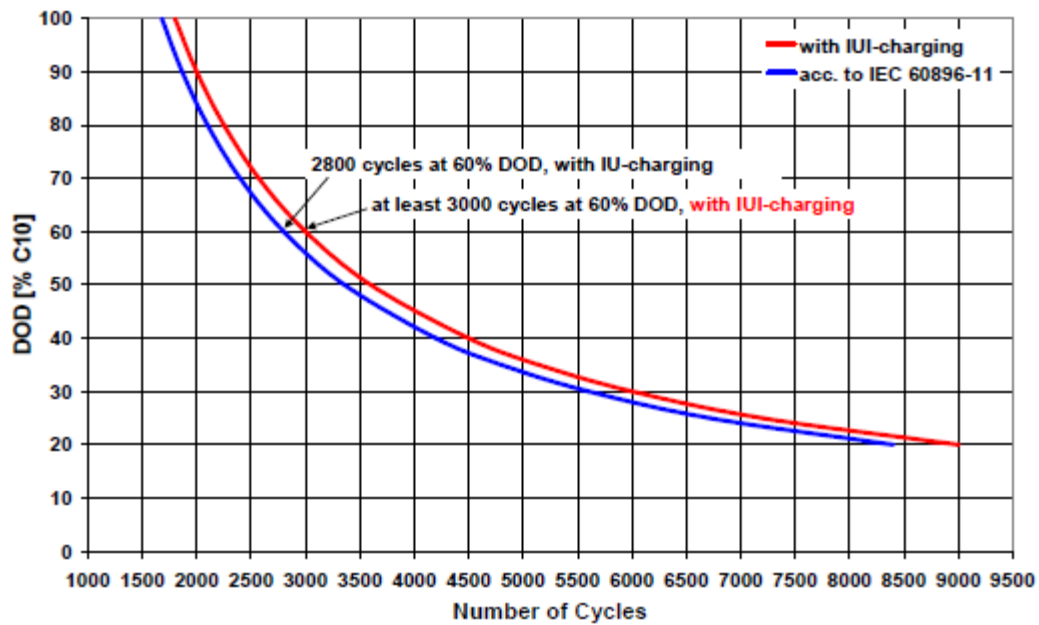
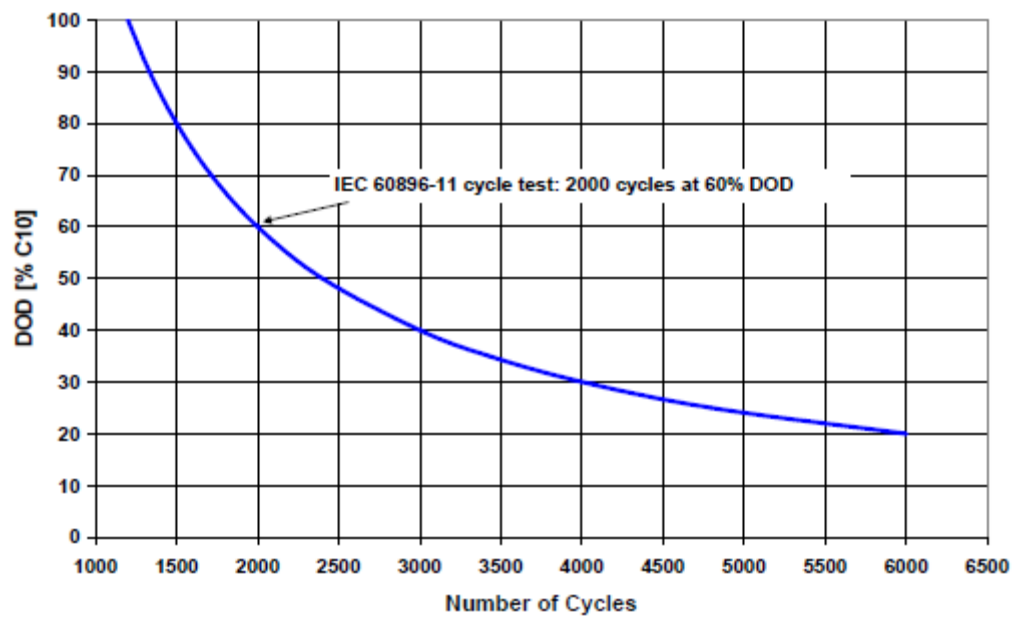


FIGURA 44 CURVA CELDA VL41M



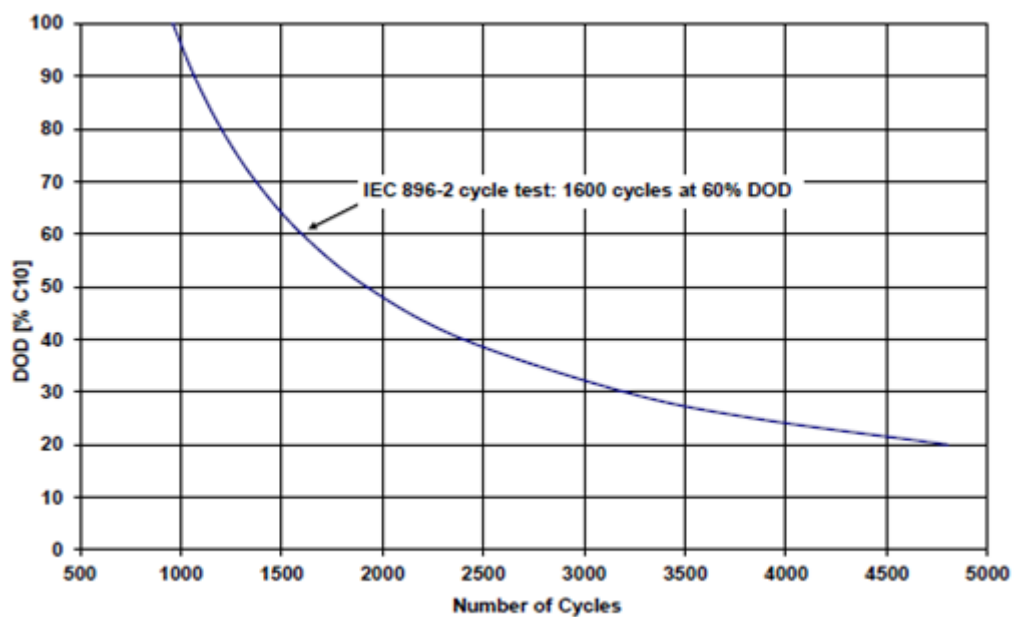
OPzS Solar-Cells - Number of Cycles vs. Depth of Discharge (DOD)

FIGURA 45 CURVA CELDA OPzS SOLAR



EnerSol T - Number of Cycles vs. Depth of Discharge (DOD)

FIGURA 46 CURVA CELDA ENERSOLT



PowerCycle - Number of Cycles vs. Depth of Discharge (DOD)

FIGURA 47 CURVA CELDA POWERCYCLE

10.2 Características de las baterías

High power lithium-ion cells VLP cells

Saft Li-ion VLP range is ideally suited to high power hybrid applications. These cells are proposed in customized battery system constructions.

Saft's Battery systems :
Individual lithium-ion cells need to be mechanically and electrically integrated into battery systems to operate properly. The battery system include electronic devices for performance, thermal and safety management specific to each application.



Features

- Very high power
- High energy density
- Maintenance free
- Long cycle life
(over 1 million HEV shallow cycles)
- Projected 10 to 15 years calendar life.

Applications

- High power hybrid vehicles
- Any application requiring very high pulse power capability

Technology

- Graphite-based anode
- Nickel oxide-based cathode
- Electrolyte: blend of carbonate solvents + LiPF₆

	VL7 P	VL20 P	VL30 P
Electrical characteristics			
Nominal voltage [V]	3,6	3,6	3,6
Average capacity 1C after charge to 4.0 V/cell (Ah)	7	20	30
Minimum capacity 1C after charge to 4.0 V/cell (Ah)	6,5	18,5	28
Specific energy after charge to 4.0 V/cell (Wh/kg)	67	89	97
Energy density after charge to 4.0 V/cell (Wh/dm ³)	131	187	209
Specific power (10s/50% DOD) (W/kg)	1811	1413	1136
Power density (10s/50% DOD) (W/dm ³)	3526	2974	2451
Mechanical characteristics			
Diameter (mm)	41	54	54
Height (mm)	145	163	222
Typical weight (kg)	0,37	0,80	1,1
Volume (dm ³)	0,19	0,38	0,51
Voltage limits			
Charge (V)	4.0 (4.1 for peak)		
Discharge (V)	2.5 (2.0 for cold cranking)		
Current limits			
Max continuous current (A)	100	250	300
Max peak current during 10s (A)	250	500	500

High energy lithium-ion cell

VL 45 E cell

Saft VL E cell is highly suited to any charge/discharge cycling application that demands a battery with drastically reduced weight and volume. This cell is proposed in Saft modules or customized battery system constructions.

Saft's Battery system :
Individual lithium-ion cells need to be mechanically and electrically integrated into battery systems to operate properly. The battery system include electronic devices for performance, thermal and safety management specific to each application.

Features

- Very high specific energy
- Maintenance free
- Excellent cycle and calendar life

Applications

- Electric and hybrid vehicles
- Telecommunication networks
- Stationary
- Space and Defence
- Any application requiring high energy storage capability

Technology

- Graphite-based anode
- Nickel oxide-based cathode
- Electrolyte: blend of carbonate solvents + LiPF6



VL 45 E	
Electrical characteristics	
Nominal voltage (V)	3.6
Average capacity C/3 after charge to 4.0 V/cell (Ah)	45
Minimum capacity C/3 after charge to 4.0 V/cell (Ah)	42
Specific energy after charge to 4.0 V/cell (Wh/kg)	149
Energy density after charge to 4.0 V/cell (Wh/dm ³)	313
Specific power (30s peak/50% DOD) (W/kg)	664
Power density (30s peak/50% DOD) (W/dm ³)	1392
Mechanical characteristics	
Diameter (mm)	54.3
Height (mm)	222
Typical weight (kg)	1.07
Volume (dm ³)	0.51
Voltage limits	
Charge (V)	4.0 (4.1 for peak)
Discharge (V)	2.7 (2.3 for peak)
Current limits	
Max continuous current (A)	100
Max peak current during 30 s (A)	250

Medium power lithium-ion cells

VL M cells

Saft VL M cells combine the benefits of high power lithium electrode technology with enhanced energy density. This cell is proposed in Saft modules or customized battery system constructions.

Saft's battery system

Individual lithium-ion cells need to be mechanically and electrically integrated into battery systems to operate properly. The battery system include electronic devices for performance, thermal and safety management specific to each application.

Features

- High specific energy and power
- Excellent cycle and calendar life
- Maintenance free
- Fast continuous charge capability 1C rate

Applications

- Electric and hybrid vehicles
- Telecommunication networks
- Stationary
- Space and Defence
- Any application requiring an optimal balance between high power and high energy

Technology

- Graphite-based anode
- Nickel oxide-based cathode
- Electrolyte: blend of carbonate solvents + LiPF₆



	VL 41M	VL 27M
Electrical characteristics		
Nominal voltage (V)	3,6	3,6
Average capacity C/3 after charge to 4.0 V/cell (Ah)	41	27
Minimum capacity C/3 after charge to 4.0 V/cell (Ah)	39	25
Specific energy after charge to 4.0 V/cell (Wh/kg)	136	124
Energy density after charge to 4.0 V/cell (Wh/dm³)	285	252
Specific power (30s peak 50% DOD) (W/kg)	794	987
Power density (30s peak 50% DOD) (W/dm³)	1667	2000
Mechanical characteristics		
Diameter (mm)	54.3	54.3
Height (mm)	222	163
Typical weight (kg)	1.07	0.77
Volume (dm³)	0.51	0.38
Voltage limits		
Charge (V)	4.0 (4.1 for peak)	
Discharge (V)	2.7 (2.3 for peak)	
Current limits		
Max continuous current (A)	150	110
Max peak current during 30 s (A)	300	300

Classic OPzS Solar

Energy storage for outstanding power applications

The Classic OPzS Solar range has been well proven for decades in medium and large power applications. Due to their robustness, long design life and high operational safety they are ideally suitable for use in solar and wind power stations, telecommunications, power distribution companies, railways and many other safety equipment power supplies. The wide range of available capacities and sizes provides a solution for every power need, even in harsh environments.

Your benefits:

- > Optimised design for renewable energy applications – highest cycling ability and long life
- > Special alloy and large electrolyte reserve – very long topping up intervals
- > Low maintenance – saving costs
- > Completely recyclable – low CO₂ footprint

Specifications:

- > Nominal capacity (C₁₀₀ at 25 °C): 82.7 - 4600 Ah
- > Very thick tubular positive plates for the most demanding applications
- > Up to 2800 cycles at 60 % depth of discharge (C₁₀) with IU charging profile at 20 °C.
For enhanced performance and for systems ≥ 48 V we recommend IUI charging to reach 3000 cycles and more.
- > Designed in accordance with IEC 61427 and IEC 60896-11
- > Screw connectors for a better contact and reliability
- > Also available in dry-charged version with separate electrolyte
- > High quality transparent or translucent containers for easy maintenance



Nominal capacity 82.7 - 4600 Ah	Block battery/ Single cell	Tubular plate	up to 3000*+ cycles at 60 % depth of discharge	Recyclable	Low maintenance

*Using IUI charging at 20 °C

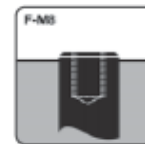
Technical characteristics and data

Type	Part number	Nom. voltage V	Nominal capacity C ₁₀₀ 1.85 Vpc 25 °C Ah	Length (l) max. mm	Width (b/w) max. mm	Height* (h) max. mm	Installed length (L) max. mm	Weight incl. acid approx. kg	Weight acid** approx. kg	Internal resistance mOhm	Short circuit current A	Terminal	Pole pairs
OPzS Solar 190	NVSL020190WC0FB	2	190	105	208	395	115	13.7	5.20	1.45	1400	F-M8	1
OPzS Solar 245	NVSL020245WC0FB	2	245	105	208	395	115	15.2	5.00	1.05	1950	F-M8	1
OPzS Solar 305	NVSL020305WC0FB	2	305	105	208	395	115	16.6	4.60	0.83	2450	F-M8	1
OPzS Solar 380	NVSL020380WC0FB	2	380	126	208	395	136	20.0	5.80	0.72	2850	F-M8	1
OPzS Solar 450	NVSL020450WC0FB	2	450	147	208	395	157	23.3	6.90	0.63	3250	F-M8	1
OPzS Solar 550	NVSL020550WC0FB	2	550	126	208	511	136	26.7	8.10	0.63	3250	F-M8	1
OPzS Solar 660	NVSL020660WC0FB	2	660	147	208	511	157	31.0	9.30	0.56	3650	F-M8	1
OPzS Solar 765	NVSL020765WC0FB	2	765	168	208	511	178	35.4	10.8	0.50	4100	F-M8	1
OPzS Solar 985	NVSL020985WC0FB	2	985	147	208	686	157	43.9	13.0	0.47	4350	F-M8	1
OPzS Solar 1080	NVSL021080WC0FB	2	1080	147	208	686	157	47.2	12.8	0.43	4800	F-M8	1
OPzS Solar 1320	NVSL021320WC0FB	2	1320	212	193	686	222	59.9	17.1	0.30	6800	F-M8	2
OPzS Solar 1410	NVSL021410WC0FB	2	1410	212	193	686	222	63.4	16.8	0.27	7500	F-M8	2
OPzS Solar 1650	NVSL021650WC0FB	2	1650	212	235	686	222	73.2	21.7	0.26	7900	F-M8	2
OPzS Solar 1990	NVSL021990WC0FA	2	1990	212	277	686	222	86.4	26.1	0.23	8900	F-M8	2
OPzS Solar 2350	NVSL022350WC0FA	2	2350	212	277	836	222	108	33.7	0.24	8500	F-M8	2
OPzS Solar 2500	NVSL022500WC0FA	2	2500	212	277	836	222	114	32.7	0.22	9300	F-M8	2
OPzS Solar 3100	NVSL023100WC0FA	2	3100	215	400	812	225	151	50.0	0.16	12800	F-M8	3
OPzS Solar 3350	NVSL023350WC0FA	2	3350	215	400	812	225	158	48.0	0.14	14600	F-M8	3
OPzS Solar 3850	NVSL023850WC0FA	2	3850	215	490	812	225	184	60.0	0.12	17000	F-M8	4
OPzS Solar 4100	NVSL024100WC0FA	2	4100	215	490	812	225	191	58.0	0.11	17800	F-M8	4
OPzS Solar 4600	NVSL024600WC0FA	2	4600	215	580	812	225	217	71.0	0.11	18600	F-M8	4
6V 4 OPzS 200 LA	NVZS060200WC0FB	6	294	272	206	347	282	41.0	13.0	2.68	2283	F-M8	1
6V 5 OPzS 250 LA	NVZS060250WC0FB	6	364	380	206	347	392	56.0	20.0	2.39	2800	F-M8	1
6V 6 OPzS 300 LA	NVZS060300WC0FB	6	417	380	206	347	392	63.0	20.0	1.96	3106	F-M8	1
12V 1 OPzS 50 LA	NVZS120050WC0FB	12	82.7	272	206	347	282	35.0	15.0	18.1	688	F-M8	1
12V 2 OPzS 100 LA	NVZS120100WC0FB	12	139	272	206	347	282	45.0	14.0	9.26	1314	F-M8	1
12V 3 OPzS 150 LA	NVZS120150WC0FB	12	210	380	206	347	392	64.0	19.0	6.46	1884	F-M8	1

* Includes installed connector; the above mentioned height can differ depending on the used vent(s).
 ** Acid density $\rho_a = 1.24 \text{ kg/l}$

Type	C ₁₀₀ 1.75 Vpc	C ₁₀₀ 1.80 Vpc	C ₁₀₀ 1.85 Vpc	C ₁₀₀ 1.90 Vpc	C ₁₀₀ 1.95 Vpc	C ₁₀₀ 2.00 Vpc	C ₁₀₀ 2.05 Vpc	C ₁₀₀ 2.10 Vpc	C ₁₀₀ 2.15 Vpc
OPzS Solar 190	122	132	134	145	165	175	185	190	200
OPzS Solar 245	159	173	176	190	215	230	240	245	260
OPzS Solar 305	203	220	224	240	270	285	300	305	320
OPzS Solar 380	250	273	277	300	330	350	370	380	400
OPzS Solar 450	296	325	330	355	395	420	440	450	470
OPzS Solar 550	353	391	398	430	480	515	540	550	580
OPzS Solar 660	422	469	477	515	575	615	645	660	695
OPzS Solar 765	492	546	555	600	670	710	750	765	805
OPzS Solar 985	606	700	710	770	860	920	970	985	1035
OPzS Solar 1080	669	773	784	845	940	1000	1055	1080	1100
OPzS Solar 1320	820	937	950	1030	1150	1230	1295	1320	1385
OPzS Solar 1410	888	1009	1024	1105	1225	1305	1380	1410	1440
OPzS Solar 1650	1024	1174	1190	1290	1440	1540	1620	1650	1730
OPzS Solar 1990	1218	1411	1430	1550	1730	1850	1950	1990	2090
OPzS Solar 2350	1573	1751	1770	1910	2090	2200	2300	2350	2470
OPzS Solar 2500	1667	1854	1875	2015	2215	2335	2445	2500	2600
OPzS Solar 3100	2080	2318	2343	2520	2755	2910	3040	3100	3250
OPzS Solar 3350	2268	2524	2550	2740	2985	3135	3280	3350	3520
OPzS Solar 3850	2592	2884	2915	3135	3430	3615	3765	3850	4040
OPzS Solar 4100	2775	3090	3125	3355	3650	3840	4000	4100	4300
OPzS Solar 4600	3099	3451	3490	3765	4100	4300	4500	4600	4850
6V 4 OPzS 200 LA	203	206	229	250	296	304	287	294	338
6V 5 OPzS 250 LA	245	257	284	311	374	383	355	364	424
6V 6 OPzS 300 LA	284	309	322	354	420	432	408	417	482
12V 1 OPzS 50 LA	55.0	51.5	63.7	69.4	78.4	79.8	81.0	82.7	92.9
12V 2 OPzS 100 LA	95.4	103	108	118	141	145	136	139	162
12V 3 OPzS 150 LA	131	154	162	177	206	217	203	210	234

Terminal and torque



12 Nm for blocks;
20 Nm for cells

Data is also valid for dry charged version.
Change »W« (Wet) to »D« (Dry) in the part number.
E.g.:

> filled and charged: NVSL023100 W CoFA
 > dry charged: NVSL023100 D CoFA

Classic EnerSol T

Powerful and universal, suitable for every application

Classic EnerSol T batteries are universal, low maintenance energy supplies for medium industrial solar systems. These lead acid batteries with liquid electrolyte are renowned for being safe and reliable due to their high performance. Typical applications are small solar and wind power systems, holiday and weekend houses.

Your benefits:

- > **Positive tubular plates** – extremely robust design and enhanced cycling performance
- > **Low maintenance** – saving costs
- > **Completely recyclable** – low CO₂ footprint

Specifications:

- > Nominal capacity (C₁₂₀ at 25 °C): 376 - 1282 Ah
- > Containers made from translucent plastics for easy topping up
- > Screw connectors for a better contact and reliability



Nominal capacity
376 – 1282 Ah



Single cell



Tubular plate



up to 2000
cycles
acc. to IEC
60896-11
(60 % DoD)



Recyclable



Low maintenance

Classic EnerSol T**Technical data, Drawings****Technical characteristics and data**

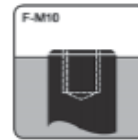
Type	Part number	Nom. voltage V	Nominal capacity C_{100} 1.85 Vpc 25 °C Ah	Length (l) max. mm	Width (b/w) max. mm	Height* (h) max. mm	Installed length (L) max. mm	Weight incl. acid approx. kg	Weight acid** approx. kg	Internal resistance mOhm	Short circuit current A	Terminal	Pole pairs
EnerSol T 370	NVTS020370WC0FA	2	376	83.0	199	445	93.0	17.3	5.10	0.70	2900	F-M10	1
EnerSol T 460	NVTS020460WC0FA	2	452	101	199	445	111	21.0	6.30	0.56	3625	F-M10	1
EnerSol T 550	NVTS020550WC0FA	2	542	119	199	445	129	24.7	7.50	0.46	4350	F-M10	1
EnerSol T 650	NVTS020650WC0FA	2	668	119	199	508	129	29.5	8.60	0.45	4500	F-M10	1
EnerSol T 760	NVTS020760WC0FA	2	779	137	199	508	147	31.0	10.0	0.38	5250	F-M10	1
EnerSol T 880	NVTS020880WC0FA	2	897	137	199	556	147	38.0	11.0	0.43	4660	F-M10	1
EnerSol T 1000	NVTS021000WC0FA	2	1025	155	199	556	165	43.1	12.6	0.38	5325	F-M10	1
EnerSol T 1130	NVTS021130WC0FA	2	1154	173	199	556	183	47.7	14.1	0.34	5991	F-M10	1
EnerSol T 1250	NVTS021250WC0FA	2	1282	191	199	556	201	52.8	15.6	0.30	6657	F-M10	1

* The above mentioned height can differ depending on the used vent(s).

** Acid density $\rho_a = 1.26 \text{ kg/l}$

Type	C_5 1.75 V/C	C_{10} 1.80 V/C	C_{20} 1.80 V/C	C_{30} 1.80 V/C	C_{40} 1.80 V/C	C_{50} 1.80 V/C	C_{60} 1.85 V/C	C_{70} 1.85 V/C	C_{80} 1.85 V/C
EnerSol T 370	260	280	294	333	361	368	369	376	383
EnerSol T 460	327	350	367	416	437	460	444	452	478
EnerSol T 550	393	425	441	499	524	553	533	542	574
EnerSol T 650	492	527	552	625	656	668	647	668	719
EnerSol T 760	574	615	645	729	766	790	755	779	839
EnerSol T 880	654	714	742	840	854	953	869	897	966
EnerSol T 1000	755	809	848	960	1008	1089	993	1025	1104
EnerSol T 1130	850	910	954	1080	1134	1225	1117	1154	1242
EnerSol T 1250	944	1011	1060	1200	1260	1361	1241	1282	1380

The capacities are given in Ah at 25 °C after 5 cycles.

Terminal and torque

25 Nm

Sonnenschein PowerCycle

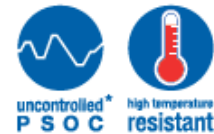
Technical data, Applications, Dimensions

Applications

PowerCycle is ideal for countries with hot climatic conditions, particularly for emerging markets where power supply instability makes battery back-up crucial. As the latest advancement of the leading dryfit® Gel technology, this new battery will enable operators to reduce ongoing expenses from battery replacements, site visits, electricity and diesel costs.

Your benefits:

- > Advanced grid design for longer life at high temperatures: up to 5 years at 40°C in float operation (20 years at 20°C)
- > Fast charging - high availability
- > Exceptional cyclic performance: 1,600 cycles at 60% depth of discharge (C10, 20°C)
- > Wide operating temperature range: -40°C to +55°C
- > Excellent performance in Partial State of Charge (PSOC)* operation and rough operating conditions
- > Durable Polypropylene container
- > Front terminal design with handles - Easy installation and maintenance
- > Lowest energy consumption
- > Maintenance free – no topping-up



Technical characteristics and data

Type	Part number	Nom. voltage V	Capacity C ₁₀₀ 1.80 Vpc 20°C Ah	Nominal Capacity C ₁₀ 1.80 Vpc 20°C Ah	Length max. mm	Width max. mm	Height max. mm	Weight approx. kg	Internal resistance mOhm	Short circuit current A	Terminal
PC12/180 FT	NGPC120180HSOMA	12	180	165	568	128	320	58.4	5.10	2432	M-M8-45°

Specifications

- > Durable polypropylene container
- > Wide operating temperature range: -40°C to +55°C
- > Long shelf life: up to 2 years at 20°C without recharge
- > Proof against deep discharge
- > Designed in accordance with IEC 60896-21/-22
- > Approval: UL (Underwriter Laboratories)
- > Design life "> 12 Years - Very Long Life*" according to EUROBAT 2015 classification
- > Trouble-free transport of operational blocks, no restrictions for rail, road, sea and air transportation (IATA, DGR, clause A67)
- > Made in Germany, ISO 9001, 14001 and OHSAS 18001 certified



Design life
20 years



Block battery



Grid plate



Recyclable



Valve regulated
lead-acid
batteries



Proof
against deep
discharge



Maintenance
free (no
topping up)



1600 cycles at
60% DoD C₁₀

*weekly equalisation charging necessary



Sonnenschein PowerCycle

Constant current and constant power discharge

Discharge in A at 20°C

V _{pc}	5 Min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	8 h	10 h	20 h
1.90	181	172	161	152	128	103	88.6	56.5	40.8	32.4	27.4	18.0	14.7	7.76
1.87	211	202	186	171	144	114	94.9	60.0	43.0	34.0	28.8	18.9	15.5	8.19
1.85	240	221	199	179	152	118	98.8	61.8	44.2	34.9	29.4	19.3	15.9	8.39
1.83	265	241	215	189	158	122	101	63.1	45.1	35.5	29.9	19.7	16.1	8.58
1.80	289	261	229	202	164	127	104	64.7	46.1	36.2	30.3	20.0	16.5	8.75
1.77	312	278	243	212	170	130	107	65.8	46.8	36.7	30.5	20.3	16.7	8.89
1.75	327	291	254	219	173	132	108	66.4	47.2	37.0	30.7	20.4	16.9	8.95
1.73	343	304	264	225	177	134	110	67.0	47.5	37.3	30.9	20.5	16.9	8.95
1.70	363	318	270	232	181	136	111	67.6	47.9	37.6	31.1	20.7	16.9	8.95
1.67	386	325	277	238	184	138	112	68.1	48.2	37.8	31.1	20.7	16.9	8.95
1.65	408	330	282	242	187	139	113	68.4	48.4	37.8	31.1	20.7	16.9	8.95
1.60	432	343	291	248	191	142	114	68.7	48.5	37.9	31.1	20.7	16.9	8.95

Discharge in Watt/block at 20°C

V _{pc}	5 Min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	8 h	10 h	20 h
1.90	2172	2079	1961	1845	1523	1209	977	631	468	367	304	203	166	87
1.87	2553	2431	2256	2089	1642	1306	1048	668	494	387	320	213	174	92
1.85	2912	2736	2493	2220	1729	1352	1090	690	510	398	329	219	179	95
1.83	3207	2918	2640	2327	1800	1382	1125	708	522	408	337	224	183	98
1.80	3474	3139	2786	2456	1884	1416	1164	760	536	418	345	228	187	100
1.77	3688	3276	2880	2529	1930	1435	1184	766	542	423	348	230	189	102
1.75	3818	3348	2933	2571	1957	1450	1196	769	546	425	350	232	190	102
1.73	4019	3496	2974	2601	1976	1462	1205	772	549	427	352	232	190	102
1.70	4248	3622	3025	2641	2002	1478	1217	775	552	430	354	234	190	102
1.67	4419	3694	3054	2672	2022	1491	1228	778	555	432	354	234	190	102
1.65	4596	3795	3087	2689	2034	1498	1235	779	556	432	354	234	190	102
1.60	4796	3864	3128	2722	2057	1513	1250	783	557	433	354	234	190	102

10.3 Precios de las baterías de plomo

Baterías

EXIDE Technologies

EXIDE
TECHNOLOGIES

Producto	PVP*
GNB Industrial Power Plomo ácido, placa tubular, traslúcidas. Garantía 2 años por defectos de fabricación.	
Classic EnerSol T 370 2 V. Capacidad 376 Ah. 17,3 kg	131,22 €
Classic EnerSol T 460 2 V. Capacidad 452 Ah. 21 kg	151,87 €
Classic EnerSol T 550 2 V. Capacidad 542 Ah. 24,73 kg	174,20 €
Classic EnerSol T 650 2 V. Capacidad 668 Ah. 29,5 kg	192,63 €
Classic EnerSol T 760 2 V. Capacidad 779 Ah. 31 kg	221,10 €
Classic EnerSol T 880 2 V. Capacidad 8976 Ah. 38 kg	233,95 €
Classic EnerSol T 1000 2 V. Capacidad 1025 Ah. 43,1 kg	260,96 €
Classic EnerSol T 1130 2 V. Capacidad 1154 Ah. 47,7 kg	285,87 €
Classic EnerSol T 1250 2 V. Capacidad 1282 Ah. 52,8 kg	308,77 €

Producto	PVP*
GNB Industrial Power Plomo ácido, traslúcidas, placa plana. Garantía 1 año por defectos de fabricación.	
Classic EnerSol 250 12 V. Capacidad 256 Ah 63 kg	341,67 €

EXIDE Technologies

EXIDE
TECHNOLOGIES

GNB Industrial Power Plomo ácido, traslúcidas, placa plana. Garantía 1 año por defectos de fabricación.

PVP*	Producto
Classic OPzS Solar 190 2 V. Capacidad 190 Ah 13,7 kg	118,37 €
Classic OPzS Solar 245 2 V. Capacidad 245 Ah 15,2 kg	139,58 €
Classic OPzS Solar 305 2 V. Capacidad 305 Ah 16,6 kg	160,80 €
Classic OPzS Solar 380 2 V. Capacidad 380 Ah 20 kg	181,47 €
Classic OPzS Solar 450 2 V. Capacidad 450 Ah 23,3 kg	199,33 €
Classic OPzS Solar 550 2 V. Capacidad 550 Ah 26,7 kg	202,68 €
Classic OPzS Solar 660 2 V. Capacidad 660 Ah 31 kg	226,13 €
Classic OPzS Solar 765 2 V. Capacidad 765 Ah 35,4 kg	252,37 €
Classic OPzS Solar 985 2 V. Capacidad 985 Ah 43,9 kg	278,62 €
Classic OPzS Solar 1080 2 V. Capacidad 1080 Ah 47,2 kg	303,18 €
Classic OPzS Solar 1320 2 V. Capacidad 1320 Ah 59,9 kg	377,43 €
Classic OPzS Solar 1410 2 V. Capacidad 1410 Ah 63,4 kg	410,38 €
Classic OPzS Solar 1650 2 V. Capacidad 1650 Ah 73,2 kg	441,08 €

Producto	PVP*
Classic OPzS Solar 1990 2 V. Capacidad 1990 Ah 86,4 kg	501,38 €
Classic OPzS Solar 2350 2 V. Capacidad 2350 Ah 108 kg	703,50 €
Classic OPzS Solar 2500 2 V. Capacidad 2500 Ah 114 kg	781,67 €
Classic OPzS Solar 3100 2 V. Capacidad 3100 Ah 151 kg	926,83 €
Classic OPzS Solar 3350 2 V. Capacidad 3350 Ah 158 kg	1.007,80 €
Classic OPzS Solar 3850 2 V. Capacidad 3850 Ah 184 kg	1.178,08 €
Classic OPzS Solar 4100 2 V. Capacidad 4100 Ah 191 kg	1.261,83 €
Classic OPzS Solar 4600 2 V. Capacidad 4600 Ah 1217 kg	1.340,00 €
OPzS Solar Block 70 12 V. Capacidad 70 Ah 35 kg	312,67 €
OPzS Solar Block 140 12 V. Capacidad 140 Ah 45 kg	382,47 €
OPzS Solar Block 210 12 V. Capacidad 210 Ah 64 kg	488,55 €
OPzS Solar Block 280 6 V. Capacidad 280 Ah 41 kg	351,20 €
OPzS Solar Block 350 6 V. Capacidad 350 Ah 56 kg	424,33 €
OPzS Solar Block 420 6 V. Capacidad 420 Ah 63 kg	462,87 €



*Los precios no incluyen el IVA y no incluyen el precio de transporte a destino final.



10.4 Código Matlab utilizado

10.4.1 Código Matlab Filtrado de Picos

```

clear all
close all

Dias=1; %Numero de dias a simular
Offset=1; %Potencia máxima

%% CARGAS

load('smart26.mat');
% C=E(:,1);
Consumo=E;

%% BATERIAS
CargaInicial=1; %En porcentaje (0 a 1)
Capacidad=3; %kWh
PBatMax=6; %kW

C1=CargaInicial;

%% CALCULO POTENCIAS
IntervalosDia=1440;

%Creacion de variables
ValoresRed=[];

ValoresConsumo=[];
ValoresCargaBaterias=[];
ValoresPotenciaBaterias=[];

for k=1:Dias

    DiaActual = k-1;
    if DiaActual>0 %Cada vez que pasa un dia pone al final sus
valores de consumo
        Consumo = circshift(Consumo,-1440);

    end

    for i=1:IntervalosDia

        %% Carga baterias
        Balance(i)=0;
        if Consumo(i)<Offset
            if i>=120 & i<360
                if C1<1
                    Balance(i)=Offset-Consumo(i);
                end
            end
        end
    end
end

```

MEMORIA

```

[C1,Balance(i),PotenciaBaterias(i),CargaTotal(i)]=Bbaterias(Balance(i)
,C1,Capacidad,PBatMax);
    end
end
    Balance1(i)=Balance(i);
    if Balance1(i)>0
        Balance1(i)=0;
    end
%
%
%
%

%% Consumos
    Balance(i)=-Consumo(i)+Offset;
    if Balance(i)>0
        Balance(i)=0;
    end

    Consumos(i)=-Consumo(i);

%% Baterias

[C1,Balance(i),PotenciaBaterias(i),CargaTotal(i)]=Bbaterias(Balance(i)
,C1,Capacidad,PBatMax);

    Balance2(i)=-PotenciaBaterias(i)-Consumo(i)+Balance1(i);

    end
    CargaTotal=CargaTotal/Capacidad*100;

    ValoresRed=[ValoresRed; -Balance2];

    ValoresConsumo=[ValoresConsumo; -Consumos];
    ValoresCargaBaterias=[ValoresCargaBaterias; CargaTotal];
    ValoresPotenciaBaterias=[ValoresPotenciaBaterias; -
PotenciaBaterias] ;
    end

```

10.4.3 Código Matlab Optimización

```

clear all
close all
tic

%% Parametros

Dias=1;
primerdia=1; %Por que dia empieza la simulacion
IntervalosDia=1440;

%Baterias
EBatMax=3; %kWh
EBatMin=0.1*EBatMax;
PBatMax=6; %kW
C1=0.45; %Porcentaje de carga inicial (0 a 1)

%Red
PRedMax=2.3; %Potencia maxima a intercambiar con la red

load('datos.mat')
for i=primerdia:Dias

Credcompra(i,1:60)=datos(1,i); %0h a 1h
Credcompra(i,61:120)=datos(2,i);
Credcompra(i,121:180)=datos(3,i);
Credcompra(i,181:240)=datos(4,i);
Credcompra(i,241:300)=datos(5,i);
Credcompra(i,301:360)=datos(6,i);
Credcompra(i,361:420)=datos(7,i);
Credcompra(i,421:480)=datos(8,i);
Credcompra(i,481:540)=datos(9,i);
Credcompra(i,541:600)=datos(10,i);
Credcompra(i,601:660)=datos(11,i);
Credcompra(i,661:720)=datos(12,i);
Credcompra(i,721:780)=datos(13,i);
Credcompra(i,781:840)=datos(14,i);
Credcompra(i,841:900)=datos(15,i);
Credcompra(i,901:960)=datos(16,i);
Credcompra(i,961:1020)=datos(17,i);
Credcompra(i,1021:1080)=datos(18,i);
Credcompra(i,1081:1140)=datos(19,i);
Credcompra(i,1141:1200)=datos(20,i);
Credcompra(i,1201:1260)=datos(21,i);
Credcompra(i,1261:1320)=datos(22,i);
Credcompra(i,1321:1380)=datos(23,i);
Credcompra(i,1381:1440)=datos(24,i); %de 23h a 24h

end

%Precio de venta de la energia a la red

Cbat=repmat(0,1,IntervalosDia);

```

MEMORIA

```

%% CARGAS
load('smart1.mat');
C=smart1(:,1);
Consumo=table2array(C)/1000;

%% BATERIAS
CargaInicial=C1*EBatMax;

%% Variables para guardar los datos
ValoresRed=[];
ValoresConsumo=[];
ValoresCargaBaterias=[];
ValoresPotenciaBaterias=[];
ValoresTotal=[];
ValoresCompra=[];
ValoresCoste=[];
ValoresRedReal=[];
ValoresConsumoReal=[];

%% Dia de comienzo

%% Bucle
for k=1:Dias

    %% OPTIMIZACION

    %%Consumos y Generacion

    for i=1:IntervalosDia

        PConsumos(i)=Consumo(i); %% VECTOR DE CONSUMOS
    end

    T=24/IntervalosDia; %%Periodo de tiempo en horas de cada
paso

    %% MATRICES (x=[Pfc Pmt PredC PredV Pbat])

    % f (función objetivo)
    f=[Credcompra(k,:) Cbat]; %Coste que multiplica a cada potencia
    f=f';

    % Desigualdades (A*x<=b)
    A=[];
    b=[];

    %EmaxBaterias-> -T*Pbat<= Emax-CargaInicial
    triangular=tril(ones(IntervalosDia,IntervalosDia));
    A=[A;zeros(IntervalosDia,IntervalosDia) -T*triangular];
    b=[b;repmat(EBatMax-CargaInicial,IntervalosDia,1)];

    %EminBaterias -> T*Pbat<=E0-Emin
    A=[A;zeros(IntervalosDia,IntervalosDia) T*triangular];
    b=[b;repmat(CargaInicial-EBatMin,IntervalosDia,1)];

    % Igualdades (Aeq*x=beq)

```

```

Aeq=[];
beq=[];

%Balance de potencias Pfc+Pmt+PredC+PredV+Pbat=Pconsumos-
Prenovable (PredV es negativa)
Aeq=[Aeq eye(IntervalosDia) eye(IntervalosDia)];
beq=PConsumos';

%Estado final de carga
matriz=[(zeros(IntervalosDia-1,IntervalosDia));-
T*ones(1,IntervalosDia)]; %matriz con todo ceros y -T en la fila
inferior para el estado de carga final

Aeq=[Aeq;zeros(IntervalosDia,IntervalosDia) matriz];
beq=[beq;repmat(0,IntervalosDia-1,1);CargaInicial-CargaInicial];
%Carga final igual a CargaInicial (se restan y quedaría cero) (Final-
Inicial)

%Limites de las potencias
lb=[repmat(-PRedMax,1,IntervalosDia) repmat(-
PBatMax,1,IntervalosDia)];
ub=[repmat(PRedMax,1,IntervalosDia)
repmat(PBatMax,1,IntervalosDia)];

%Comando de optimizacion
[xopt, coste]=linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub);

%Sacar los valores de cada potencia de xopt

Predc=xopt(1:IntervalosDia);

Pbat=xopt(IntervalosDia+1:2*IntervalosDia);

Pred=Predc;

%Estado de carga de la bateria en cada momento
Ebat=-T*tril(ones(IntervalosDia,IntervalosDia))*Pbat+CargaInicial;

PTotal=Pred'+Pbat'-PConsumos;

%Guardar los valores de la optimizacion para usarlos despues
ValoresRed=[ValoresRed; Pred];
ValoresConsumo=[ValoresConsumo; PConsumos];
ValoresCargaBaterias=[ValoresCargaBaterias; Ebat];
ValoresPotenciaBaterias=[ValoresPotenciaBaterias; Pbat];
ValoresTotal=[ValoresTotal;PTotal];
ValoresCompra=[ValoresCompra;Predc];

end

%% Final
toc

ValoresCargaBaterias=ValoresCargaBaterias/EBatMax*100; %Pasa el
estado de carga a porcentaje

```


PRESUPUESTO

Presupuesto de las baterías:

Plomo		
Tamaño (kWh)	Precio kWh	Total
5	110,00 €	550,00 €
10	110,00 €	1.100,00 €
15	110,00 €	1.650,00 €

Litio		
Tamaño (kWh)	Precio kWh	Total
3	450,00 €	1.350,00 €
6	450,00 €	2.700,00 €
12	450,00 €	5.400,00 €